



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRIA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS

**ÍNDICE DE RIESGO NATURAL ANTE LAS PRECIPITACIONES PLUVIALES
EN EL ÁREA URBANA DE LA CIUDAD DE PUNO, 2018**

PRESENTADA POR:

ALEX ARTURO MAMANI AYMA

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAGISTER SCIENTIAE EN INGENIERÍA DE RECURSOS HÍDRICOS

PUNO, PERÚ

2021



DEDICATORIA

- A Dios, por acompañarme siempre en cada paso nuevo que doy, fortaleciendo mi temple y mis ganas de seguir adelante, con mucha salud y con unos padres y hermanos grandiosos.
- Con toda mi devoción, amor y respeto a quienes hicieron que no pierda el rumbo de mi horizonte, por siempre creer en mi recordándome que todo es posible con trabajo y disciplina, a ustedes con todo mi corazón y agradecimientos, mis amados padres Lucia Ayma Flores y Francisco Mamani Arias.
- Por todo su apoyo y consideración conmigo, con todo mi respeto y gratitud a mis hermanos Juan, Luz y Angie.



AGRADECIMIENTOS

- En primera instancia expresar mi especial agradecimiento a mi alma mater que es la Universidad Nacional del Altiplano por darme la oportunidad de alcanzar una meta más en mi vida profesional y por formar profesionales de calidad para el mundo.
- A mi asesor M. Sc. Leonel Palomino Ascencio quien es un gran referente de profesional, catedrático y con una altísima calidad de persona, gracias al cual fue posible la culminación del presente trabajo de investigación.
- A mis docentes de la maestría de Ciencias de la Ingeniería Agrícola, de la Universidad Nacional del Altiplano, por haberme formado con tanta voluntad y esfuerzo.
- A mis jurados de tesis: Dr. Edilberto Velarde Coaquira, Dr. German Belizario Quispe y M. Sc. Audberto Millones Chafloque, por toda la orientación y todo su apoyo para un óptimo desarrollo de la tesis.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
REVISIÓN DE LITERATURA	
1.1. Marco teórico	2
1.1.1. Precipitaciones pluviales	2
1.1.2. Peligrosidad	2
1.1.3. Riesgo	8
1.2. Antecedentes	11
CAPÍTULO II	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
2.1. Identificación del problema	16
2.2. Enunciados del problema	17
2.2.1. Enunciado general	17
2.2.2. Enunciados específicos	17
2.3. Justificación	17
2.4. Objetivos	18
2.4.1. Objetivo general	18
2.4.2. Objetivos específicos	18
2.5. Hipótesis	18
2.5.1. Hipótesis general	18
2.5.2. Hipótesis específicas	18



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de estudio	20
3.1.1. Ubicación geográfica	20
3.1.2. Vías de acceso	20
3.1.3. Idioma	21
3.1.4. Vivienda	21
3.1.5. Servicios básicos	22
3.1.6. Salud	23
3.1.7. Educación	23
3.1.8. Aspectos económicos	23
3.1.9. Actividades económicas	23
3.1.10. Aspectos físicos	24
3.1.11. Clasificaciones climáticas del área urbana de la ciudad de Puno	24
3.1.12. Climatología	24
3.1.13. Ecología	25
3.2. Población	25
3.3. Muestra	26
3.4. Método de investigación	26
3.4.1. Tipo de diseño de investigación	26
3.4.2. Método de investigación	26
3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	26
3.5.1. Técnicas e instrumentos para el procesamiento de datos	29

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Identificación de los niveles de peligrosidad ante precipitaciones pluviales en el área urbana de la ciudad de Puno	36
4.1.1. Factores desencadenantes	37
4.1.2. Factores condicionantes	46
4.1.3. Pendientes en el área urbana de la ciudad de Puno	51
4.1.4. Discusión de los resultados de la identificación de los niveles de peligrosidad ante precipitaciones pluviales	63
4.2. Determinación de los niveles de vulnerabilidad ante precipitaciones pluviales en el área urbana de la ciudad de Puno	65



4.2.1. Componente de exposición social	65
4.2.2. Componente de exposición económica	66
4.2.3. Parámetros de fragilidad presentes en el área urbana de la ciudad de Puno	67
4.2.4. Componentes de resiliencia social	85
4.2.5. Nivel de vulnerabilidad	99
4.2.6. Discusión de los resultados de la determinación de los niveles de vulnerabilidad ante precipitaciones pluviales	108
4.3. Cálculo de riesgos naturales ante precipitaciones pluviales, en el área urbana de la ciudad de Puno	110
4.3.1. Niveles de riesgos	110
4.3.2. Discusión de los resultados de la caracterización del índice de riesgo natural ante las precipitaciones pluviales	116
4.3.3. Aceptabilidad o tolerancia del riesgo	118
4.4. Medidas de mitigación de los riesgos naturales ante precipitaciones pluviales en el área urbana de la ciudad de Puno	120
4.4.1. Medidas de orden no estructural	121
4.4.2. Medidas de orden estructural	122
4.4.3. Discusión de los resultados de las medidas de mitigación de los riesgos naturales ante precipitaciones pluviales	122
CONCLUSIONES	125
RECOMENDACIONES	126
BIBLIOGRAFÍA	127
ANEXO	134

Puno, 08 de diciembre de 2021

ÁREA: Ciencias de la ingeniería
TEMA: Riesgos naturales ante precipitaciones pluviales
LÍNEA: Ordenamiento territorial y medio ambiente



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Tipos de movimiento en masa	6
2. Tipos de niveles de riesgos	8
3. Coordenadas UTM de vértice perimetral de zona de estudio	20
4. Vías de acceso terrestre.	21
5. Vías de acceso al distrito de Puno	21
6. Escala numérica según Saaty	30
7. Índice aleatorio de una matriz de comparaciones pareadas	33
8. Factores condicionantes y desencadenantes del riesgo natural del área urbana de Puno	37
9. Análisis estadístico de las precipitaciones pluviales de la estación Puno	38
10. Prueba de normalidad de las precipitaciones pluviales de la estación Puno	39
11. Resultados de evaluación de pruebas paramétricas y no paramétricas mediante software TREND	39
12. Caracterización de umbrales de precipitación	43
13. Matriz normalizada y vector priorización de umbrales de precipitaciones pluviales	44
14. Estratificación de los niveles de peligrosidad por umbrales de precipitaciones pluviales	44
15. Estimación de escenario de precipitaciones pluvial representativo	45
16. Factores condicionantes	46
17. Matriz normalizada y vector priorización de parámetros de peligrosidad	46
18. Litología del área urbana de la ciudad de Puno	47
19. Matriz normalizada y vector priorización de unidades litológicas	48
20. Unidades geomorfológicas del área urbana de la ciudad de Puno	49
21. Matriz normalizada y vector priorización de unidades geomorfológicas	50
22. Pendientes en el área urbana de la ciudad de Puno	51
23. Matriz normalizada y vector priorización de pendientes	52
24. Zona geotécnica en el área urbana de la ciudad de Puno	53
25. Matriz normalizada y vector priorización de la zonificación geotécnica	54
26. Tipos de deslizamientos	55
27. Escala de valores propuesta por Saaty	58
28. Estimación de niveles de peligrosidad	59
	vi



29. Rangos y niveles de peligrosidad	59
30. Estratificación de los niveles de índice de peligrosidad	60
31. Matriz normalizada y vector priorización de parámetros de fragilidad social	68
32. Matriz normalizada y vector priorización de población según ciclo de vida	69
33. Descriptor representativo de población según ciclo de vida	70
34. Matriz normalizada y vector priorización de población con alguna discapacidad	71
35. Descriptor representativo de la población con alguna discapacidad	72
36. Matriz normalizada y vector priorización de la densidad poblacional	73
37. Descriptor representativo de la densidad poblacional	74
38. Matriz normalizada y vector priorización de la fragilidad económica	75
39. Matriz normalizada y vector priorización de materiales de construcción predominante en paredes	77
40. Descriptor representativo de materiales de construcción predominante en paredes	78
41. Matriz normalizada y vector priorización de material de construcción predominante en los techos	79
42. Descriptor representativo de materiales de construcción predominante en los techos	80
43. Matriz normalizada y vector priorización de material de construcción predominante en los pisos	82
44. Descriptor representativo de material de construcción predominante en los pisos	82
45. Matriz normalizada y vector priorización de tenencia de la vivienda	84
46. Descriptor representativo de tenencia de la vivienda	84
47. Peso ponderado de resiliencia social	86
48. Matriz normalizada y vector priorización de población afiliada a seguro de salud	87
49. Descriptor representativo de población afiliada a seguro de salud	88
50. Matriz normalizada y vector priorización de ultimo nivel de estudio que aprobó	89
51. Descriptor representativo de ultimo nivel de estudio que aprobó	90
52. Matriz normalizada y vector priorización de resiliencia económica	92
53. Matriz normalizada y vector priorización de abastecimiento de agua en la vivienda	93
54. Descriptor representativo de abastecimiento de agua en la vivienda	94
55. Vector priorización de alumbrado eléctrico por red publica	95
56. Descriptor representativo de alumbrado eléctrico por red publica	96
57. Matriz normalizada y vector priorización de tipo de vivienda	97



58. Descriptor representativo de tipo de vivienda	98
59. Estimación de valor de fragilidad social	100
60. Estimación de valor de resiliencia social	100
61. Estimación del valor representativo de la vulnerabilidad social	100
62. Estimación de valor de fragilidad de económica	101
63. Estimación de valor de resiliencia económica	101
64. Estimación del valor representativo de la vulnerabilidad económica	102
65. Estimación de índice de vulnerabilidad	102
66. Rango y nivele de vulnerabilidad	103
67. Estratificación de los niveles de índices de vulnerabilidad	104
68. Estimación de riesgo del área de estudio	110
69. Rangos y niveles de riesgo	110
70. Matriz de estimación de índices de riesgo	111
71. Estratificación de niveles de índices riesgo	112
72. Valoración y descripción de consecuencias	118
73. Valoracion y descripcion de frecuencia	119
74. Consecuencia y daños	119
75. Medidas cualitativas de consecuencias y daño	120
76. Aceptabilidad y/o Tolerancia del riesgo	120

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Diagrama de clasificación de peligros y origen natural	3
2. Procesos meteorológicos y geodinámicos	3
3. Diagrama de factores condicionantes para la estimación de intensidad de daños	4
4. Herramientas de sistema de información geográfica (SIG)	34
5. Precipitación anual del 1964 al 2018, registrada por la estación Puno	37
6. Distribución de la base empírica de Weibull con la distribución normal	40
7. Test Kolmogorov-Smirnov	41
8. Función de distribución de densidad	41
9. Valores obtenidos según periodo de retorno y precipitación máxima por el software Hydrognomon 4.1	42
10. Densidad poblacional y área de influencia	56
11. Niveles de susceptibilidad y área de influencia	56
12. Incidencia de nivel de susceptibilidad	57
13. Mapa de peligrosidad del área urbana de la ciudad de Puno	61
14. Incidencia de los niveles de peligrosidad	62
15. Vulnerabilidad social en el área urbana de la ciudad de Puno	66
16. Vulnerabilidad económica en el área urbana de la ciudad de Puno	66
17. Componentes de fragilidad social en el área urbana de la ciudad de Puno	67
18. Población según ciclo de vida	70
19. Población con alguna discapacidad	73
20. Componentes de fragilidad económica en el área urbana de la ciudad de Puno	75
21. Material de construcción predominante en las paredes	78
22. Material de construcción predominante en los techos	81
23. Material de construcción predominante en los pisos	83
24. Tenencia de la vivienda	85
25. Resiliencia del área urbana de la ciudad de Puno	86
26. Población afiliada a seguro de salud	88
27. Ultimo nivel de estudio que aprobó	91
28. Resiliencia del área urbana de la ciudad de Puno	91
29. Abastecimientos de agua en la vivienda	95
30. La vivienda tiene alumbrado eléctrico por red publica	96
31. Tipo de vivienda	99
	ix



32.	Mapa de vulnerabilidad del área urbana de la ciudad de Puno	106
33.	Incidencia del nivel de vulnerabilidad	107
34.	Mapa de riesgos del área urbana de la ciudad de Puno	114
35.	Índice de afectación del riesgo natural ante precipitaciones pluviales.	115
36.	Medidas de control y mitigación de orden no estructural	121
37.	Medidas de control y mitigación de orden estructural	122
38.	Corte de talud con falla local en coordenadas 394018.87 m E , 8250823.12 m S	152
39.	Viviendas colindantes a talud natural en coordenadas 393996.61 m E, 8250877.07 m S	152
40.	Vista de corte lateral de talud , con presencia de viviendas en la cresta en coordendas 394018.87 m E , 8250823.12 m S	152
41.	Vista de vias de corte de talud con poblacion colindante en coordendas 393962.23 m E , 8250917.33 m S	153
42.	Vista de zona de llanura de inundación en coordenadas 393695.42 m E, 8251442.16 m S	153
43.	Vista isométrica de zona de talud natural zona de prospección de nueva vivienda en coordenada 393733.76 m E, 8251149.27 m S	153
44.	Vista de área urbana ubicada en ladera de pendiente baja y media en coordenadas 393781.33 m E, 8250938.13 m S	154
45.	Vista de área urbana ubicada en ladera de pendiente baja y media en coordenadas 393833.83 m E, 8250902.95 m S	154
46.	Vista de zona de riesgo por caídas y desplazamiento plano en coordenadas 393559.83 m E, 8252324.83 m S	154
47.	Vista de zona de erosión kárstica generando cavernas y zonas de vacío en el estrato de basamento en coordenadas 393534.21 m E, 8252453.95 m S	155
48.	Vista de zona de llanura de inundación y lomada en coordenadas 391633.01 m E, 8253863.36 m S	155
49.	Vista de zona de ladera de pendiente media a baja y zona de llanura de inundación en coordenadas 392271.57 m E, 8253844.42 m S	155
50.	Vista de zona de llanura y llanura de inundación en coordenadas 392498.98 m E, 8253982.88 m S	156
51.	Vista de ladera de pendiente alta en coordenadas 392271.89 m E, 8253584.16 m S	156



52. Vista de área urbana en zona de ladera de pendiente media a alta en coordenadas 391851.95 m E, 8252979.37 m S 156
53. Vista de ladera pendiente alta, con presencia de rocas susceptible a desprendimientos en coordenadas 392369.91 m E, 8253543.15 m S 157
54. Vista de ladera de pendiente alta a media con presencia de rocas susceptibles a caídas y flujos, con presencia de zona urbana en ladera de pendiente baja y llanura en coordenadas 392434.58 m E, 8253362.01 m S. 157
55. Vista de ladera de pendiente alta, media, colina y llanura y llanura de inundación con área urbana en coordenadas 393322.55 m E, 8252049.88 m S 158
56. Vista de cima y laderas con pendiente alta en coordenadas 393315.47 m E, 8250901.16 m S 158
57. Vista de ladera de pendiente media, baja en coordenadas 393395.41 m E, 8250337.52 m S y colina en coordenadas 393659.80 m E, 8249904.25 m S 158
58. Vista de zona urbana de la ciudad de Puno desde las coordenadas 392999.73 m E, 8250923.76 m S 159
59. Vista de ladera de cima y pendiente alta en coordenadas 392362.06 m E, 8251304.99 m S 159
60. Toma de datos litológicos, de zona geotécnica y litología del área urbana de la ciudad de Puno en coordenadas 393026.35 m E, 8250762.77 m S 159
61. Toma de datos y mapeo del área urbana de la ciudad de Puno en coordenadas 393026.35 m E, 8250762.77 m S 160
62. Mapeo litológico, geomorfológico y zonas geotécnicas de la zona norte del área urbana de la ciudad de Puno en coordenadas 391538.33 m E, 8251431.19 m S 160
63. Vista de cima de la zona norte del área urbana de la ciudad de Puno en coordenadas 391538.33 m E, 8251431.19 m S 161
64. Vista del área urbana de la ciudad de Puno tomada desde las coordenadas 390707.71 m E, 8251771.27 m S 161
65. Vista de colina, ladera de pendiente alta, media y baja con habilitaciones urbanas em coordenada 390621.43 m E, 8250347.14 m S 162
66. Ladera con pendiente alta y presencia de viviendas susceptibles a flujos en coordenadas 389944.68 m E, 8250812.12 m S 162
67. Vista lateral de ladera con presencia de viviendas colindantes susceptibles a flujos y desprendimientos de rocas en coordenadas 390350.29 m E, 8250071.36 m S 163



68. Vista de ladera de pendiente alta y media con presencia de zona urbana en coordenadas 389918.84 m E, 8250619.61 m S 163
69. Vista de ladera de pendiente alta y media colindante a la ciudad universitaria en coordenadas 390882.61 m E, 8250137.75 m S 164
70. Vista de área urbana susceptible a flujos, desprendimiento de rocas y detritos en coordenadas 390882.61 m E, 8250137.75 m S 164
71. Vista lateral de pendiente alta colindante a ciudad universitaria en coordenadas 390882.61 m E, 8250137.75 m S 165
72. Vista de vivienda susceptible a desprendimiento de detritos y flujo de rocas en coordenadas 390029.76 m E, 8250025.88 m S 165
73. Vista de viviendas susceptibles a deslizamientos de detritos y flujos en coordenadas 390158.45 m E, 8250378.17 m S 166
74. Vista de vivienda en construcción en ladera dependiente media en coordenadas 390099.86 m E, 8250223.59 m S 166
75. Vista de vivienda sobre cresta de corte de talud para vivienda en coordenadas 390205.17 m E, 8249960.14 m S 167
76. Vivienda en construcción en ladera de pendiente alta y presencia de vivienda aledaña a desnivel en coordenadas 390155.10 m E, 8250017.33 m S 167
77. Área urbana en ladera de pendiente alta, media y baja del cerro azogueño. en coordenadas 389332.71 m E, 8249489.13 m S 168
78. Vista en de norte a sur de area de area urbana en ladera de pendiente alta, media y baja del cerro azogueño. en coordenadas 389332.71 m E, 8249489.13 m S 168
79. Vista desur a norte de área urbana en ladera de pendiente alta, media y baja del cerro azogueño. en coordenadas 389282.50 m E, 8248904.88 m S 169
80. Vista de talud natural ubicada en el barrio huascas, salida a Juliaca en coordenadas 389568.04 m E, 8250062.24 m S 169
81. Vista de cima, ladera de pendiente alta de la zona de alto Huáscar, salida a Juliaca en coordenadas 389304.79 m E, 8249844.54 m S 170
82. Vista de zona de afloramiento rocoso en ladera dependiente media en coordenadas 389063.99 m E, 8249750.51 m S 170
83. Vista de área urbana en colina y ladera de pendiente media en coordenadas 390057.15 m E, 8249770.48 m S 171
84. Vista de cima y ladera de pendiente media y alta de la zona sur este oeste del área urbana de la ciudad de Puno en coordenadas 389018.59 m E, 8249840.14 m S 171



85. Vista de cima y ladera de pendiente media y alta de la zona sur este oeste del área urbana de la ciudad de Puno en coordenadas 388930.90 m E, 8249837.80 m S 172
86. Vista de ladera de pendiente alta y talud natural colíndate a vía de acceso en coordenadas 388975.49 m E, 8249743.33 m S 172
87. Vista de área urbana de la ciudad de Puno de este a oeste 173
88. Mapeo litológico, geomorfológico y zona geotécnica del área urbana de la ciudad de Puno en coordenadas 388890.02 m E, 8249777.24 m S 173
89. Recolección de datos de área estudio en coordenadas 388890.02 m E, 8249777.24 m S 174
90. Viviendas y zonas de recurrencia poblacional masiva sobre ladera de pendiente alta en coordenadas 389073.54 m E, 8249685.91 m S 174
91. Vista de estabilización de taludes y laderas de pendiente media a alta en zona noreste del área urbana de la ciudad de Puno en coordenadas 389092.85 m E, 8249649.95 m S 175
92. Vista de viviendas de altura considerables sobre ladera de pendiente media a alta en coordenadas 389109.44 m E, 8249815.30 m S 175
93. Vista de área urbana en ladera de pendiente alta del cerro azogueño en coordenadas 389623.93 m E, 8249469.57 m S 176
94. Vista de talud colindante a vía de acceso a la ciudad de Puno y viviendas en ladera de pendiente alta en coordenadas 389623.85 m E, 8249400.57 m S. 176
95. Vista de viviendas en ladera de pendiente alta en cresta de talud de corte colindante a vía de acceso al área urbana de la ciudad de Puno en coordenadas 389602.63 m E, 8249333.36 m S 177
96. Vista de ladera de pendiente colindante a vía en coordenadas 389488.84 m E, 8249081.75 m S 177
97. Vista de valle en v colindante a cerro azogueño de la ciudad de Puno en coordenadas 389241.56 m E, 8248812.38 m S. 178
98. Vista de viviendas en crestas de talud en coordenadas 389180.66 m E, 8248694.42 m S 178
99. Corte de talud para construcción de vivienda en coordenadas 389132.25 m E, 8248661.52 m S 179
100. Vista de valle en v en coordenadas 389085.52 m E, 8248395.49 m S 179
101. Vista de valle en v en coordenadas 389247.62 m E, 8248823.63 m S 180



- 102.** Vista general de area urbana colindate a cerro huajsapata en coordenadas
389582.97 m E, 8248393.75 m S. 180
- 103.** Vista de norte a sur del área urbana colindante al cerro Huajsapata en coordenadas
389582.97 m E, 8248393.75 m S. 181
- 104.** Vista de oeste a este de pendiente y área urbana colindante en coordenadas
389582.97 m E, 8248393.75 m S. 181
- 105.** Vista de drenaje pluvial y aguas servidas en el centro poblado de salcedo en
coordenadas 393020.96 m E, 8245290.22 m S 182
- 106.** Vista de norte a sur de área urbana colindante a zona montañosa en coordenadas
393645.22 m E, 8244574.67 m S 182
- 107.** Vista de ladera de pendiente alta, media con presencia de detritos, flujos de roca y
área urbana asentada coordenadas 392672.44 m E, 8245333.58 m S 183
- 108.** Vista de noreste a suroeste, Ladera de pendiente media con asentamiento urbano en
coordenadas 392634.19 m E, 8245236.23 m S 183
- 109.** Vista de talud de corte con pendiente alta y asentamiento urbano de la ciudad de
Puno en coordenadas 392620.72 m E, 8245422.66 m S 184
- 110.** Vista de talud de corte con pendiente alta y asentamiento urbano de la ciudad de
Puno en coordenadas 392620.72 m E, 8245422.66 m S 184
- 111.** Vista de ladera de pendiente media y zona de depositario de sedimentos originados
por precipitaciones pluviales en coordenadas 392614.24 m E, 8245714.72 m S.
185
- 112.** Vista de corte de talud horizontal con presencia de viviendas en la cresta. en
coordenadas 392731.30 m E, 8245800.78 m S 185
- 113.** Vista de vivienda colindante a talud de corte para vía en coordenadas 392693.16 m
E, 8245768.77 m S 186
- 114.** Vivienda colindante a talud de corte con desprendimiento de detritos y rocas suelta
en coordenadas 392663.84 m E, 8245757.90 m S 186
- 115.** Vista de zonas de estabilización de pendiente alta, colindante a vía interprovincial
en coordenadas 392622.81 m E, 8246446.96 m S 187
- 116.** Vista de área urbana colindante con llanura de inundación y colina en coordenadas
392877.95 m E, 8247231.59 m S 187
- 117.** Vista de zona urbana colindante a ladera de pendiente alta y cima en coordenadas
397627.68 m E, 8245938.03 m S 188

- 118.** Vista de este a oeste de área urbana asentada en laderas de pendiente baja en el centro poblado de Jayllihuaya en coordenadas 397627.68 m E, 8245938.03 m S 188
- 119.** Vista de noreste a suroeste de área urbana asentada en laderas de pendiente baja en el centro poblado de jayllihuaya en coordenadas 396581.23 m E, 8242473.36 m S 188
- 120.** Vista de oeste a este de ladera de pendiente media y baja colindante con valle en v en coordenadas 396581.23 m E, 8242473.36 m S 189
- 121.** Vista de suroeste a noreste de área urbana del centro poblado de jayllihuaya 396581.23 m E, 8242473.36 m S 189
- 122.** Vista de valle en v colindante con colinas y ladera de pendiente alta y baja en coordenadas 395911.03 m E, 8243546.91 m S 189
- 123.** Vista de área urbana del centro poblado de jayllihuaya en coordenadas 394784.98 m E, 8244692.96 m S 190
- 124.** Vista de oeste a este de área urbana del centro poblado de salcedo colíndate con laderas de pendiente alta en coordenadas 393195.92 m E, 8243749.97 m S 190
- 125.** Vista de noreste a suroeste de ladera de pendiente media, colindante al área urbana en el centro poblado de salcedo en coordenadas 392445.43 m E, 8243849.46 m S 191
- 126.** Vista de área urbana en expansión del centro poblado de salcedo colindante con zonas de pendiente media a alta. en coordenadas 392517.95 m E, 8243774.37 m S 191
- 127.** Vista de oeste a este de centro recreacional de salcedo con ladera y cima en coordenadas 393116.30 m E, 8244299.19 m S 191
- 128.** Vista de corte de talud en zona suroeste del área urbana de la ciudad de Puno en coordenadas 391925.59 m E, 8243608.20 m S 192
- 129.** vista de laderas de pendiente alta colindantes al área urbana en expansión en la zona suroeste del área urbana de la ciudad de Puno en coordenadas 391861.20 m E, 8243989.44 m S 192
- 130.** Vista de laderas de pendiente alta colindantes al área urbana en expansión en la zona suroeste del área urbana de la ciudad de Puno en coordenadas 391861.20 m E, 8243989.44 m S 192
- 131.** Vista de colina y ladera de pendiente media, colíndate a área urbana en coordenadas 391943.31 m E, 8244860.62 m S 193



- 132.** Vista de zona de expansión correspondiente a centro poblado de alto Puno en
coordenadas 387559.31 m E, 8250342.02 m S 193
- 133.** Vista de habilitación urbana Habidad en el centro poblado de alto Puno en
coordenadas 387383.91 m E, 8250466.46 m S 193



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Precipitaciones máximas registrado por la estación pluviométrica Puno	134
2. Mapas tematicos del area urbana de la ciudad de Puno.	135
3. Panel fotografico	152



RESUMEN

El área urbana de la ciudad de Puno es afectada por diferentes fenómenos meteorológicos que aceleran la ocurrencia de desastres naturales. La presente investigación tiene como objetivo caracterizar el índice de riesgo natural ante las precipitaciones pluviales en el área urbana de la ciudad de Puno, para lo cual se identificó los niveles de peligrosidad y determinó los niveles de vulnerabilidad, mediante el método del procesamiento de análisis jerárquico y la toma de decisiones multicriterio, utilizando herramientas del sistema de información geográfico. Se obtuvo un índice de afectación muy alto el cual representa el 52.90% del área urbana de la ciudad de Puno, de la misma manera se obtuvo un índice de afectación de riesgo alto el cual representa el 47.10% del área urbana de la ciudad de Puno ante las precipitaciones pluviales máximas en 24 horas, debido a una vulnerabilidad poblacional representativa muy alta. Se concluye que el área urbana de la ciudad de Puno está caracterizada por índices de afectación de riesgo natural alto a muy alto.

Palabras clave: Índice de afectación, peligrosidad, precipitación, riesgo, vulnerabilidad.



ABSTRACT

The urban area of the city of Puno is affected by different meteorological phenomena that accelerate the occurrence of natural disasters. The objective of this research is to characterize the natural risk index in the face of rainfall in the urban area of the city of Puno, for which the levels of danger were identified and the levels of vulnerability determined, through the hierarchical analysis processing method. and multi-criteria decision making, using tools from the geographic information system. A very high impact index was obtained which represents 52.90% of the urban area of the city of Puno, in the same way a high risk impact index was obtained which represents 47.10% of the urban area of the city of Puno before the maximum rainfall in 24 hours, due to a very high representative population vulnerability. It is concluded that the urban area of the city of Puno is characterized by high to very high natural risk impact indices.

Keywords: Danger, index of affectation, precipitation, risk, vulnerability.

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Puno cuenta con un área aproximada de 17.4 km^2 (Municipalidad Provincial de Puno, 2017), el cual está ubicado a una altura de 3827 m.s.n.m. (Ingemmet, 2015), albergando una población a nivel distrital de 144,685 habitantes (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017).

La presente investigación va orientada hacia el conocimiento de las zonas con mayor peligrosidad y vulnerabilidad para la caracterización y estimación de los índices de afectación de los niveles del riesgo natural generados por las precipitaciones pluviales, identificando zonas con bajos niveles de riesgo para un adecuado crecimiento urbano en función de los índices y sus niveles de peligrosidad y vulnerabilidad con el fin de preservar el bienestar de la población mediante la mitigación de los riesgos naturales ante precipitaciones pluviales máximas (CENEPRED, 2014; Edeso, 2008).

El presente trabajo se estructura por cuatro capítulos las cuales se detallan a continuación: en el capítulo I se describe conceptos del marco teórico y la revisión de antecedentes referente a índices y niveles de riesgos naturales ante precipitaciones pluviales mostrándose un aspecto general del presente proyecto; el capítulo II se describe el planteamiento del problema en el cual se realiza la identificación del problema, la justificación, objetivos e hipótesis; el capítulo III refiere los materiales y métodos de investigación de forma detallada por objetivos específicos; finalmente en el capítulo IV se refieren los resultados y la discusión de los objetivos específicos, para posteriormente redactar las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Marco teórico

1.1.1. Precipitaciones pluviales

La precipitación pluvial se presenta en toda forma de humedad, originada de las nubes que llegan hasta la superficie del suelo, del mismo modo, desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, la precipitación pluvial es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre (Hanco, 2018; Henríquez *et al.*, 2016).

Las precipitación pluviales extremas están en relación directa al medio físico, generando susceptibilidad en el áreas urbanas, entre las cuales se observa la escorrentía superficial con baja permeabilidad y zonas de pendiente alta y media, siendo este un condicionante para el aumento del nivel de peligrosidad y vulnerabilidad del área urbana (INDECI, 2003; Tlatempa, 2015).

1.1.1.1. Precipitación media anual

La precipitación media anual es la lámina de agua que en promedio cae al año, registrada por la estación pluviométrica (Hanco, 2018).

1.1.2. Peligrosidad

Los peligros se clasifican en función a su origen; de forma natural o por la acción humana como se detalla en la figura 1 (CENEPRED, 2014; Galvez, 1997).

La interacción entre el medio geológico y la actividades humanas, indican una gran necesidad para establecer un equilibrio entre el territorio ocupado y las condiciones

de habitabilidad del medio natural, conociendo los procesos geodinámicos del área urbana e incorporando métodos de prevención para la mitigación de riesgos naturales (Gaspari *et al.*, 2011).

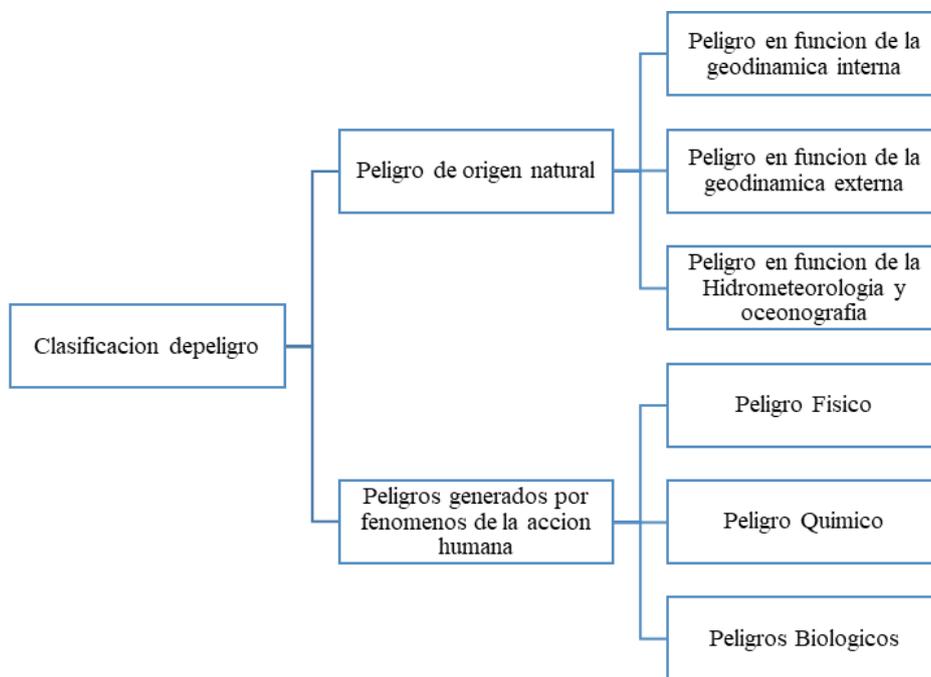


Figura 1. Diagrama de clasificación de peligros y origen natural
Fuente: (CENEPRED, 2014; Fernández *et al.*, 2017).

1.1.2.1. Procesos meteorológicos y geodinámicos

Los procesos meteorológicos y geodinámicos son eventos de poca recurrencia en el tiempo y alta intensidad de daño del medio físico, los cuales se detallan en la figura 2.

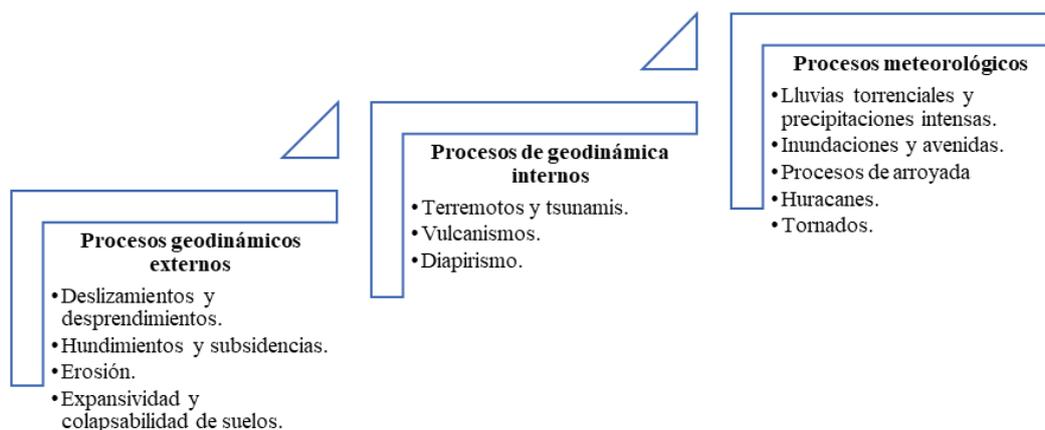


Figura 2. Procesos meteorológicos y geodinámicos
Fuente: (Zango, 2003).

Los factores condicionantes para la estimación de intensidad de daños asociados a la geodinámica externa, pueden ser mitigados mediante la actuación preventiva de los gobiernos en todos sus estratos, estimando la intensidad y caracterizando la tipología del evento extraordinario y su proceso de origen, como se refiere en la figura 3 (Gaspari *et al.*, 2011).

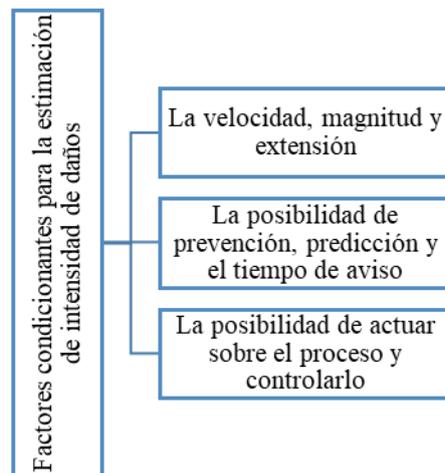


Figura 3. Diagrama de factores condicionantes para la estimación de intensidad de daños

Fuente: (CENEPRED, 2014).

1.1.2.2. Susceptibilidad de un área geográfica

La susceptibilidad es la posibilidad de ocurrencia de un evento extraordinario en un territorio determinado que amenaza el medio físico y social del área urbana.

La susceptibilidad a los deslizamientos son estimados mediante herramientas del sistema de información geográfica (SIG) considerando parámetros físicos como la geología, pendientes, deslizamientos y otros que considere el especialista para la elaboración de un informe basado en el análisis estadístico multivariado (Guaman, 2012; Sosa, 2013).

1.1.2.3. Análisis y evaluación de los niveles de peligrosidad

La estimación de los niveles de peligrosidad y su estratificación es establecido por la evaluación del medio físico, que permite cuantificar y cualificar los fenómenos naturales, acontecimiento extraordinarios y factores condicionantes en una zona urbana sometida a condiciones específicas (CENEPRED, 2014; Edeso, 2008).

Los niveles de peligrosidad se obtienen siguiendo una metodología de investigación, categorizada en siete fases: la primera fase es la recopilación y análisis de información; la segunda fase es la identificación del área urbana a ser estudiada; en la tercera fase se encuentra los parámetros de evaluación del fenómeno meteorológicos; en la cuarta fase se realiza el análisis de la susceptibilidad en función de los factores condicionantes como la topografía, tipo de suelo, geomorfología y factores desencadenantes; en la quinta fase se da el análisis de los elementos expuestos de las zonas susceptibles a peligrosidad el cual está reflejada en la exposición social, económica y ambiental; en la sexta fase se define escenarios; en la séptima fase se da la estratificación de los niveles de peligrosidad de acuerdo a umbrales y la determinación de niveles de peligrosidad; y como octava fase se elabora el mapa del nivel de peligrosidad del área de estudio (Dallimer *et al.*, 2020; Isidro *et al.*, 2009), usándose herramientas de sistema de información geográfica (SIG), para la elaboración de modelos determinísticos, con el uso de factores de seguridad para la estimación de los niveles de susceptibilidad de áreas urbanas (Guaman, 2012).

1.1.2.4. Peligros naturales

Los peligros naturales están relacionado con la intervención humana, aumentando la severidad de los desastres naturales, siendo perjudiciales y catastróficas para la población del área urbana (Edeso, 2008; INGEMMET, 2015).

1.1.2.5. Peligro geológico

Los peligros geológicos están caracterizados por: deslizamientos, derrumbes, flujos, caídas de bloques de roca, etc., las cuales están relacionados a la interacción entre los fenómenos naturales y el medio físico ocasionando daños a los bienes materiales y sociales limitando el crecimiento económico y una degradación ambiental (Doyle *et al.*, 2019; Terzi *et al.*, 2019).

1.1.2.6. Caracterización de movimiento de masa

El movimiento de masa se presentan de forma diversa, los cuales varían en función a un proceso evolutivo en razón a características particulares de cada tipo de movimiento como se refiere en la tabla 1 (Hanco, 2018).

Tabla 1
Tipos de movimiento en masa

Tipo	Secuencia	Estado	Tamaño	Velocidad	Humedad	Material
Caído	Progresivo	Activado	Extremadamente pequeño	Extremadamente rápido	Seco	Roca
Vuelco	Retrogresivo	Reactivado	Muy pequeño	Muy rápido	Húmedo	Tierra
Rotacional	Ampliándose	Suspendido	Pequeño	Rápido moderado	Mojado	Residuos
Traslacional	Alargándose	Inactivo	Mediano	Lento	Muy mojado	Lodo
Extensión lateral	Confinado	Dormido	Meanamente grande	Muy lento		
Hundimiento	Disminuyendo	Abandonado	Muy grande	Extremadamente lento		
Flujo		Estabilizado	Extremadamente grande			
Avalancha		relicto				

Fuente: (Hanco, 2018).

1.1.2.7. Peligros hidrometeorológicos

Los peligros hidrometeorológicos son categorizados según la intensidad y frecuencia, generados por procesos atmosférico recurrentes considerados como factores desencadenantes de amenazas, en relación directa con el medio físico (Barreto, 2005; CENEPRED, 2014).

El modelo evolutivo de los grandes deslizamientos se presentan de forma sistemática, donde se involucran a la litología, el tipo de suelo y su cobertura vegetal la cual es sometida a precipitaciones pluviales y una circulación hídrica (Mata, 2000).

1.1.2.8. Erosiones

La erosión es el proceso de disolución, desgaste y modelación del medio físico por agentes naturales y antrópicos, las cuales se complementan con una tala indiscriminada, generando el desprendimiento de un suelo debilitado que no soporta su propio peso (CENEPRED, 2014; Da Silva *et al.*, 2019).

1.1.2.9. Vulnerabilidad

La vulnerabilidad es la exposición al riesgos de los agentes que componen el área urbana, los cuales pueden ser afectados a nivel socioeconómico y cultural (Fernández *et al.*, 2017; Tlatempa, 2015).

La vulnerabilidad en relación con el peligro, brinda los niveles de riesgos los

cuales se determinan según parámetros y descriptores con el fin de normalizar los criterios de evaluación en función a características físicas de exposición, fragilidad y resiliencia (Guaman, 2012).

1.1.2.10. Evaluación de vulnerabilidad

La evaluación de vulnerabilidad determina y zonifica los sectores críticos en el áreas urbanas, en base a mapas de susceptibilidad considerando a la población afectada; el crecimiento poblacional; parámetros litológicos; geomorfológicos; pendientes y el grado de afectación y exposición del área urbana (Chávez, 2016; INDECI, 2014).

1.1.2.11. Zonificación de vulnerabilidad

La zonificación de vulnerabilidad es plasmada con herramienta del sistema de información geográfica (SIG) en mapas temáticos, para la toma de decisiones de una adecuada zonificación del área urbana, frente a un potencial peligro (Guaman, 2012).

La prevención y manejo de desastres naturales demanda la elaboración de mapas en función del análisis de riesgos naturales, identificando previamente la vulnerabilidad estimada a través de la evaluación multicriterio en función a características poblacionales (CENEPRED, 2014; Valenzuela, 2003).

1.1.2.12. Índice de afectación del riesgo natural

La estimación de los índices de riesgo natural, está en función del análisis de peligrosidad, susceptibilidad y la vulnerabilidad de los elementos expuestos del área urbana (Acuña, 2016; Jaramillo, 2012).

Los índices de afectación de riesgos naturales, ayudan a monitorear la capacidad de gestión de riesgos para la toma de decisiones, considerando al medio físico y las características poblacionales del área urbana ocupada (CENEPRED, 2014; Mejía, 2014).

$$|R_{ie}|_t = |f(P_i, V_e)|_t$$

Donde:

R_{ie} = Riesgo.

f = En función.

P_i = Peligro con la intensidad mayor o igual a i durante un período de exposición t .

V_e = Vulnerabilidad de un elemento expuesto e .

t = Periodo de tiempo.

Para la clasificación de los niveles de riesgo del área urbana se considerará la tabla 02, usando como parámetro el nivel de peligrosidad y vulnerabilidad, para estimar el nivel de riesgo en forma cualitativa de un área urbana determinada (CENEPRED, 2014; SINAGERD, 2014).

Tabla 2
Tipos de niveles de riesgos

Peligros	Vulnerabilidad baja	Vulnerabilidad media	Vulnerabilidad alta	Vulnerabilidad muy alta
Peligro muy alto	Riesgo alto	Riesgo alto	Riesgo muy alto	Riesgo muy alto
Peligro alto	Riesgo medio	Riesgo alto	Riesgo alto	Riesgo muy alto
Peligro medio	Riesgo medio	Riesgo medio	Riesgo alto	Riesgo alto
Peligro bajo	Riesgo bajo	Riesgo medio	Riesgo medio	Riesgo alto

Fuente: (CENEPRED, 2014; SINAGERD, 2014).

1.1.3. Riesgo

El riesgo, es la ocurrencia probabilística de un evento extraordinario en un área urbana con una población vulnerable (CENEPRED, 2014; Romo, 1996). Para realizar la evaluación se inicia con la identificación de las zonas vulnerables a riesgos naturales, para luego poder valorar de forma cualitativa las condiciones reales en función a la presencia de factores desencadenantes y condicionantes (CENEPRED, 2014; Tlatempa, 2015).

Los resultados de la evaluación determinan una calificación categórica de zonas de muy alto riesgo, riesgo alto, riesgo moderado y riesgo bajo según sea la afectación de peligrosidad y vulnerabilidad en un área urbana (Hanco, 2018; Jaramillo, 2012).

1.1.3.1. Tipos de riesgo natural

La identificación de los riesgos naturales en zonas urbanas, no solo depende de las condiciones del medio físico o factores desencadenes sino también del crecimiento demográfico y urbanístico (Llorente, 2009).

1.1.3.2. Análisis de riesgos, amenaza y vulnerabilidad

Es de gran relevancia la determinación de los niveles de riesgo ante precipitaciones pluviales en un área urbana, mediante un análisis multicriterio, utilizando herramientas del sistema de información geográfica (SIG), las cuales nos permiten el modelamiento del medio físico de forma semicuantitativa, integrando variables y descriptores que influyen en el área urbana (Duque, 2017; Martínez, 2013).

1.1.3.3. Nivel de peligrosidad y vulnerabilidad

Los niveles de peligrosidad y vulnerabilidad son determinados mediante estudios de campo y de gabinete, plasmados en un mapa temático el cual es utilizado en procesos de ordenamiento territorial de nuevas áreas generadas por el aumento poblacional (Acuña, 2016; Jaramillo, 2012).

El conocimiento del riesgo proporciona el ímpetu necesario para la resiliencia comunitaria y un impulso psicológico a la participación ciudadana en la reducción y mitigación del riesgo (CENEPRED, 2014).

1.1.3.4. Exposición

La exposición es la predisposición a peligros potenciales generadores de daños de orden social, económico y cultural en el área urbana (Sepúlveda, 2016).

1.1.3.5. Adquisición de datos

La adquisición de datos del medio físico se da de forma sistemática y estructurada, considerando los factores condicionantes y desencadenantes que están presentes en el área urbana, posteriormente son procesados mediante sistemas de información geográfica (Mena, 2013; Senticala, 2013).

1.1.3.6. Sistemas de información geográfica

El sistema de información geográfica (SIG) también denominado como sistema de información geoespacial es una herramienta informática que incorpora y almacena información; analiza y administra datos; crear consultas interactivas; edita datos y mapas; y presenta los resultados de todas estas operaciones (Acuña, 2016; Jaramillo, 2012).

La tecnología SIG se está convirtiendo en una herramienta esencial, para el procesamiento de información geográfica, de forma coordinada y lógica (Martínez, 2013; Mejía, 2014), para un óptimo procesamiento de información de manera progresiva, compleja, laboriosa y continúa (Mena, 2013).

1.1.3.7. Medidas de control y mitigación de riesgos naturales

Las medidas de control tienen el objetivo de prevenir y mitigar la probabilidad de ocurrencia de impactos socioeconómico, implementando un plan de prevención de acuerdo a los niveles de riesgo, respaldada por una fuente confiable de información y asesoramiento especializado (CENEPRED, 2014; Tlatempa, 2015).

1.1.3.8. Zonificación geotécnica

La zonificación geotécnica está en función de la calidad del suelo, la granulometría y el grado de compactación, lo cual refleja la susceptibilidad al desplazamiento y la velocidad de saturación frente a precipitaciones pluviales en el área de estudio (Sepúlveda, 2016).

Son muchos los procesos que contribuyen a crear un suelo particular, algunos de estos son: la deposición eólica; sedimentación en cursos de agua; meteorización; y deposición de material orgánico (INDECI, 2010; Saavedra & Mannaerts, 2003).

Los procesos de alteración mecánica y química de las rocas, determinan la formación de un manto de aluvión desplazado por mecanismos de transporte de laderas, de su posición de origen a zonas de valle y meseta donde se realizan las actividades socioeconómicas y culturales (Martínez, 2013).

1.1.3.9. Pendiente

Una pendiente es un declive o inclinación del terreno respecto a la horizontal, expresado como porcentajes de la tangente donde cero indica un nivel paralelo a la horizontal, mientras los valores relativos reflejan inclinación, que pueden ser expresado en grados sexagesimales (Bevacqua *et al.*, 2018; Rossi *et al.*, 2019). Por lo general existe un cambio de pendiente más o menos brusco entre la vertiente y el talud de derrubios que se forma en su base, lo cual representa un factor desencadene para la ocurrencia de desastres naturales (Hanco, 2018; Liu & Song, 2020).

1.1.3.10. Geomorfología y litología

La geomorfología presenta singularidades que permiten la observación de características y patrones geomorfológicos relacionados a una persistencia y extinción de geo formas, tendencias topográficas e intervalos de cota, entre otras características territoriales (Abril, 2017).

La geomorfología es un factor condicionante para un crecimiento territorial ordenado, considerando las unidades presentes en la superficie del área geográfica (Gobierno Regional Puno, 2015).

La secuencia estratigráfica local cubre edades desde el cámbrico hasta el cuaternario, caracterizadas por rocas sedimentarias, volcánicas y metamórficas (INDECI, 2003; Tlatempa, 2015). Los dominios morfoestructurales que controlan los afloramientos de las unidades son la cordillera occidental, altiplano oriental y altiplano occidental (Acosta *et al.*, 2011).

1.2. Antecedentes

Municipalidad Provincial de Puno (2011), en el plan de desarrollo provincial concertado del 2011 al 2021, refiere que el desarrollo integral de la provincia de Puno se da en función a un plan de ordenamiento territorial del área urbana y una gestión eficiente de riesgos contra los desastres naturales, teniendo una proyección al 2021 del 45% de riesgos identificados en función al total de riesgos estimados a nivel regional.

SINAGERD (2014), en el plan nacional de gestión del riesgo de desastres, se estima que un 33% de la población peruana es susceptible a lluvias intensas como agente desencadenante de movimientos de masa, huaycos y deslizamientos.

INGEMMET (2011), en la memoria geología y económica de la región de Puno, integra datos geológicos, geomorfológicos, unidades lito-estratigráficas y la geología económica de los principales depósitos minerales de la región de Puno, del cual 61.0% corresponde al área superficial de la sierra, 32.1% zona de selva, 0.02% superficie insular y el 6.88% corresponde al lago Titicaca del lado peruano.

Municipalidad Provincial de Puno (2017), en el plan de desarrollo local concertado de la provincia de Puno al año 2030, define a la gestión de riesgos como el proceso de análisis e identificación de efectos secundarios, acciones de prevención y mitigación de riesgos naturales en un área urbana, teniendo como línea base de la gestión de riesgos al 25%, y con una proyección al 2030 del 85%.

INGEMMET (2015), en el estudio de riesgos geológicos del Perú-franja 4, refiere que la geodinámica externa afecta a laderas, terrazas, quebradas con áreas agrícolas, red vial, áreas pobladas, generando zonas de susceptibilidad con índices de afectación del 37% de derrumbes, caída de roca y aludes; flujos en un 21%; deslizamientos en un 11% y los movimientos complejos en 6%, en relación a 4157 ocurrencias.

Municipalidad Provincial de Puno (2015), refiere que los límites del crecimiento urbano de la ciudad de Puno, están en pendientes menores a 30%, sin embargo, se observa una ocupación de terreno de difícil acceso a servicios públicos y atención ante desastres naturales con pendientes elevadas.

Barreto (2005), refiere que la determinación del índice de riesgo natural en el área urbana de la ciudad de Colima se realizó una estructura conceptual, en la cual se identificaron los factores que condicionan y aportan a la generación de riesgos, mediante un modelo matemático, obteniéndose un índice de afectación al 85.32% del nivel bajo; 14.13% del nivel medio y 0.55% del nivel alto.

Guaman (2012), refiere la ciudad de Loja presenta movimiento de ladera e inestabilidad de masas, las cuales son condicionadas por la geodinámica externa y las características propias del medio físico de la zona urbana estudiada, con un índice de afectación del 8.8% del riesgo alto y muy alto y un 91.2% de riesgo moderado a bajo.

Garcia (2013), el entendimiento y manejo eficiente de los sistemas de información geográfica para eventos de amenaza natural fue considerado como herramienta fundamental y de amplia repercusión en la estimación de medidas de respuesta en el terremoto de Haití del año 2010.

Muñoz & Arroyave (2017), refieren que las investigaciones científicas sobre riesgos naturales, constituyen la base teórica y práctica para establecer metodologías de trabajo ante la variabilidad de desastres naturales, desarrollando e implementando criterios de evaluación del medio físico y social, de la misma forma refiere una afectación de 4200 millones de personas por eventos hidrometeorológicos.

Valenzuela (2003), el diagnóstico preliminar de los riesgos naturales, está orientado a establecer métodos y parámetros de prevención, para la mitigación de los factores involucrado en la generación de desastres naturales, obteniéndose índices de afectación del 34% en erosión de ladera, 28% flujos, 21% deslizamientos, 10% derrumbes y 3% de movimientos complejos, con la presencia de precipitaciones media anual de 551.20 mm.

INDECI (2005), en el estudio de peligrosidad de la ciudad de Sicuani, refiere que las constantes precipitaciones pluviales entre los meses de diciembre y marzo son los principales agentes desencadenantes de inundaciones e inestabilidad de laderas, correlacionado con el tipo y calidad de suelos, obteniendo un índice de afectación del 26% del nivel muy alto, frente a una precipitación promedio anual de 709.30 mm.

SINAGERD (2011, 2014), en la formulación del plan nacional de gestión del riesgo de desastres del 2014 al 2021, refiere que el 36.20% de la población total están viviendo en zonas vulnerables o en zonas cercanas a la misma y el 46% del territorio nacional tienen una vulnerabilidad física alta y muy alta.

López *et al.* (2002) y Romo (1996), en el análisis y evaluación de riesgos naturales en zonas urbanas de la ciudad de Tijuana se incluye la evaluación de aspectos socioeconómicos y atmosféricos para determinar el grado de vulnerabilidad y peligrosidad, obteniéndose el índice de afectación de riesgos por erosión y remoción de masa en una superficie de 24.86 km^2 , del cual el 50.66% es de riesgo bajo, 30.91% es de riesgo medio, 13.63% es de riesgo alto y 4.80% de riesgo muy alto.

Llorente (2009), refiere que el sistema de información geográfica como herramienta tienen diversas aplicaciones para el análisis, evaluación, gestión de la peligrosidad y la

zonificación de datos morfométricos de la zona de estudio, su empleo nos reduce tiempo y costos, en consecuencia lo hacen una herramienta útil para la gestión de riesgos naturales.

Tlatempa (2015), en los Criterios geológico-hidrológicos para recomendaciones del uso de suelo en zonas conurbadas sujetas a afectaciones por lluvias intensas se categoriza una afectación potencial del 43.20% en la cuenca Poc Poc, 1.7% en el cerro Hueco, 10.80% en la cuenca San Roque y 80.00% en la cuenca Santa Ana. de la misma manera refiere una afectación por lluvias del 5.60% en la cuenca Poc poc, 4.60% en el cerro Hueco, 8.40% en la cuenca San Roque y el 84.80% en la cuenca Santa Ana.

Tello (1995), en los riesgos geológicos se presentan en diferentes formas como deslizamientos, inundaciones y temblores, los cuales son difícilmente eliminados en su totalidad sin embargo al conocer los factores desencadenantes, es posible una mitigación parcial de los niveles de riesgo.

Mejía (2014), refiere que el análisis de los riesgos múltiples está basado en situaciones hipotéticas de daños generados por la geodinámica interna y externa mediante el método estadístico y de multicriterio, obteniéndose riesgos altos con un índice de afectación del 52.41%, los cuales son un claro indicador de la necesidad de propuestas técnicas de mitigación para la reducción de los niveles de vulnerabilidad y peligrosidad.

Edeso (2008), los riesgos naturales están asociados a un crecimiento demográfico con alto índice de vulnerabilidad, para lo cual se establecen herramientas de manejo preventivo y de mitigación de amenazas en zonas urbanas.

Martínez (2013), la ubicación cercana a la placa de caribe y la enorme placa norteamericana sumado a la presencia del aumento demográfico, pone a Haití en un nivel de riesgo alto, siendo la solución una adecuada formulación de políticas públicas ante desastres naturales y el uso de tecnología para la gestión óptima de los riesgos naturales.

Bevacqua *et al.* (2018) y Rossi *et al.* (2019), los riesgos naturales son originados por procesos geomorfológicos, identificados con modelos y procedimientos para entender su origen y evolución, caracterizando de manera óptima el medio físico con el fin de establecer medidas de mitigación.



Rossi *et al.* (2019), los estudios de riesgo natural, contribuyen a mejorar la zonificación ante riesgo de deslizamientos de tierra, de la misma forma fomenta la eficacia de los sistemas de alerta temprana y la implementación de mejores estrategias de, mitigación y adaptación a deslizamientos de tierra.

Doyle *et al.* (2019), el porcentaje elevado de incertidumbres en los modelos constituyen un gran reto para la toma de decisiones, especialmente para enfoques multimodales y riesgos en cascada, la incertidumbre hace que sea importante identificar las acciones claves, las áreas para el desarrollo e investigación futura, presentando una revisión sistemática de la literatura temática, identificando métodos para una decisión eficiente.

Terzi *et al.* (2019), refiere que el cambio climático es el origen de una amplia gama de impactos reflejados en la pérdida de biodiversidad; daño a ecosistemas; alteración del ciclo del agua; y afectación a la economía a nivel local.

Liu & Song (2020), el índice de gestión de riesgos, es la medición cualitativa de la gestión en base a targets o benchmarking. Para la formulación del índice de gestión de riesgos se considera la identificación del riesgo, reducción del riesgo, manejo de desastres y gobernabilidad y protección financiera.

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Identificación del problema

Los riesgos naturales generados por precipitaciones pluviales son uno de los más destructivos en todo el mundo, debido a la ocurrencia en zonas de montaña ocupadas por asentamientos humanos, ocasionando pérdidas sociales y económicas (Sepúlveda, 2016).

A nivel mundial, Indonesia es considerada uno de los países más vulnerables ante desastres geológicos e hidrometeorológicos, según la autoridad nacional de gestión de desastres de Indonesia (BNPB-RI) en el año 2018, donde se presentaron más de 1800 eventos de desastres y entre el periodo del 2005 a 2018, más del 78% de los desastres eran desastres hidrometeorológicos, en general se observa que Indonesia no se encuentra preparado para afrontar la incidencia de desastres de gran y mediana escala (Shalih *et al.*, 2020).

A nivel nacional, el Perú tiene un alto índice de probabilidad de muerte o lesiones graves ante desastres naturales, en los próximos 25 años la probabilidad es muy alta con 45.10%, mientras que en la sierra sur se presenta una probabilidad del 30.70% (Evans & Zechmeister, 2018).

A nivel local, el área urbana de la ciudad de Puno ocupa terrenos con pendientes mayores al 30%, los cuales ocasionan alta susceptibilidad a desestabilizaciones de ladera por amenazas sísmicas o saturación de los suelos naturales, debido a la prevalencia de relleno poco consolidado y de zonas de difícil acceso (Municipalidad provincial de Puno, 2015).

Por tal motivo para efectos de esta investigación se hace pertinente plantear la caracterización del índice de afectación del riesgo natural ante las precipitaciones

pluviales en el área urbana de la ciudad de Puno, de tal manera que sus resultados pongan en evidencia las condiciones reales de la ciudad.

2.2. Enunciados del problema

2.2.1. Enunciado general

¿Cuáles son las características del índice de riesgo natural ante las precipitaciones pluviales en el área urbana de la ciudad de Puno?

2.2.2. Enunciados específicos

- ¿Cuáles son los niveles de peligrosidad ante precipitaciones pluviales en el área urbana de la ciudad de Puno?
- ¿Cuáles son los niveles de vulnerabilidad ante precipitaciones pluviales en el área urbana de la ciudad de Puno?
- ¿Cuáles son las medidas de mitigación de los riesgos naturales ante precipitaciones pluviales en el área urbana de la ciudad de Puno?

2.3. Justificación

Las ocurrencias de precipitaciones pluviales extraordinarias han propiciado un clima de temor y preocupación entre la población de la ciudad de Puno, la identificación y caracterización de los niveles de peligrosidad y vulnerabilidad contribuye al conocimiento y estimación de zonas con mayor índice de afectación por riesgos naturales ante precipitaciones pluviales para una adecuada toma de decisiones en la gestión de riesgos (Dallimer *et al.*, 2020).

El área urbana de la ciudad de Puno está caracterizado por condiciones topográficas irregulares y una geomorfología variada, además de precipitaciones pluviales temporales entre los meses de diciembre a marzo, generando condiciones de riesgos y vulnerabilidad social, la cual está acompañado con limitadas capacidades por parte de los pobladores para afrontar los impactos negativos de la amenaza (Municipalidad provincial de Puno, 2015).

La importancia de la estimación y caracterización del índice de riesgo ante precipitaciones pluviales, tienen las siguientes razones: primero permite la cualificación y cuantificación

de los niveles del índice de peligrosidad y vulnerabilidad; asimismo, proporciona un lineamiento para una adecuada planificación de medidas preventivas; permite identificar las deficiencias y potencialidades del asentamiento humano; garantiza las inversiones de proyectos específicos; y nos permite identificar y analizar los tipos de vulnerabilidad ante riesgos (INDECI, 2006), los cuales se reflejaran en mapas de riesgo.

Complementariamente se debe realizar la propuesta de medidas de prevención y mitigación de carácter no estructural y estructural de los riesgos naturales generados por precipitaciones pluviales máximas.

2.4. Objetivos

2.4.1. Objetivo general

Caracterizar el índice de riesgo natural ante las precipitaciones pluviales en el área urbana de la ciudad de Puno.

2.4.2. Objetivos específicos

- Identificar los niveles de peligrosidad ante precipitaciones pluviales en el área urbana de la ciudad de Puno.
- Determinar los niveles de vulnerabilidad ante precipitaciones pluviales en el área urbana de la ciudad de Puno.
- Enunciar medidas de mitigación de los riesgos naturales ante precipitaciones pluviales en el área urbana de la ciudad de Puno.

2.5. Hipótesis

2.5.1. Hipótesis general

Las características del índice de riesgo natural ante las precipitaciones pluviales están parametrados dentro de los niveles de riesgo alto y muy alto, debido a la influencia del nivel alto de vulnerabilidad y peligrosidad en el área urbana de la ciudad de Puno.

2.5.2. Hipótesis específicas

- Los niveles de peligrosidad ante precipitaciones pluviales son de nivel alto los cuales están condicionados por las características físicas del área urbana de la ciudad de Puno.



- La vulnerabilidad ante precipitaciones pluviales es de nivel muy alto, el cual está condicionado por factores sociales y económicos del área urbana de la ciudad de Puno.
- Las medidas de mitigación de los riesgos naturales ante precipitaciones pluviales en el área urbana de la ciudad de Puno son de orden estructural y no estructural.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de estudio

La presente investigación de estudio se realizó en el área urbana de la ciudad de Puno, provincia de Puno, ubicada al sureste del Perú a unos 3810 msnm, con asentamiento de población de zonas susceptibles a deslizamiento de masas de tierra generados por precipitaciones pluviales.

3.1.1. Ubicación geográfica

El distrito de Puno está ubicado en la provincia de Puno con una extensión territorial de 17.40 km^2 dentro de las coordenadas UTM especificadas en la tabla 3, colindante por el norte con el distrito de Paucarcolla, por el oeste con el distrito de Tiquillaca y distrito de San Antonio, por el sur con el distrito de Pichacani y distrito de Chucuito y el este con el Lago Titicaca,

Tabla 3
Coordenadas UTM de vértice perimetral de zona de estudio

Coordenada	Punto N°01	Punto N°02	Punto N°03	Punto N°04
Norte	8'250,805.49	8'252,799.58	8'244,381.13	8'242,386.06
Este	386,781.28	392,863.04	396,842.65	391,693.50

3.1.2. Vías de acceso

Las vías de acceso terrestre al distrito de Puno, se conceptualizan como segmentos de rutas que interconecta a la población con otro grupo poblacional, las cuales se detallan en la tabla 4.

Tabla 4
Vías de acceso terrestre.

	Tramo	Distancia km	Tiempo en avión	Tiempo en bus	Tiempo en tren
Vía de acceso	Lima- Puno	1315 km	1h 40'	22h (vía Arequipa)	-
	Arequipa –Puno	325 km	50'	6h	-
	Cusco – Puno	389 km	55'	6h 30'	10 h
	Juliaca – Puno	44 km	-	1h	-
	Desaguadero- Puno	148 km	-	2h 15'	-

Fuente: Mapa vial por distritos (D.S. N° 011-2016-MTC).

En la tabla 5, se caracteriza las vías de acceso al distrito de Puno, en razón a otros distritos del departamento de Puno, según el tipo de vía de acceso y la distancia.

Tabla 5
Vías de acceso al distrito de Puno

Distrito	Transporte		Distrito	Transporte	
	Vía de acceso	Distancia en km. Al área de estudio.		Vía de acceso	Distancia en km. Al área de estudio.
Amantani	Afirmado	45 km	Acora	Asfaltada	33 km
Tiquillaca	Asfaltada	24 km	Mañazo	Asfaltada	44 km
Coata	Asfaltada	44 km	San Antonio	Asfaltada	80 km
Huata	Asfaltada	12 km	Platería	Asfaltada	28 km
Atuncolla	Asfaltada	28 km	Chucuito	Asfaltada	18 km
Vilque	Asfaltada	34 km	Pichacani	Asfaltada	39 km
Capachica	Asfaltada	58 km	Puno	Asfaltada	0 km
Paucarcolla	Asfaltada	15 km			

Fuente: Mapa vial por distritos (D.S. N° 011-2016-MTC).

3.1.3. Idioma

El idioma predominante en el área urbana de la ciudad de Puno es el español con presencia de lenguas originaria como quechua y aimara.

3.1.4. Vivienda

Considerando la información según el censo nacional 2017, XII de población, VII de vivienda y III de comunidades indígena, en el que se refiere la existencia de 52,515 viviendas en el distrito de Puno, del cual 92.22% son casas independientes; 3.04% son departamentos en edificios; 0.78% son viviendas en quintas; 2.04% son viviendas en casa de vecindad correspondiente a callejón, solar o corralón; 0.81% son chozas o cabañas; 0.61% son viviendas improvisadas; 0.34% son viviendas colectivas; y el 0.05% son locales no destinados para habitación humana (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017).

3.1.5. Servicios básicos

Los servicios de abastecimiento de agua, energía eléctrica, servicios higiénicos, salud y educación otorgan una calidad de vida adecuada a la población, siendo estos imprescindibles para el desarrollo socioeconómico y cultural de la población, el, detalladas a continuación.

3.1.5.1. Abastecimiento de agua

El abastecimientos de agua en la ciudad de Puno se presenta en 36,644 casos, del cual el 79.43% tienen abastecimiento de agua por red pública dentro de la vivienda; 11.16% tienen abastecimiento de agua subterránea por pozos; 4.12% tienen abastecimiento por red pública fuera de la vivienda, pero dentro de la edificación; 2.48% tienen abastecimiento de agua por pilón o pileta de uso público; 1.29% tiene abastecimiento de agua de río, acequia, lago, laguna; 0.60% tienen abastecimiento de agua por el vecino; 0.43% tienen abastecimiento de agua por Camión cisterna u otro similar; 0.17% tienen abastecimiento de agua de manantial o puquio; y un 0.33% de otros tipos de abastecimiento de agua (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017).

3.1.5.2. Servicio de energía eléctrica

Los servicios de energía eléctrica en la ciudad de Puno se presentan en 36,644 casos, del cual el 89.34% si tienen alumbrado eléctrico y el 10.66% no tienen alumbrado público (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017).

3.1.5.3. Servicios higiénicos

Los servicios higiénicos en viviendas se presentan en 36,644 casos, del cual el 77.54% son de red pública de desagüe dentro de la vivienda; 6.47% son de letrina con tratamiento; 5.55% son en campo abierto o al aire libre; 4.93% son de red pública de desagüe fuera de la vivienda, pero dentro de la edificación; 3.52% son de pozo ciego o negro; 0.99% son de pozo séptico, tanque séptico o biodigestor; 0.13% son de río, acequia, canal o similar; y un 0.87% de otros tipo de servicios higiénicos (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017).

3.1.6. Salud

La población afiliada a algún seguro salud se presenta en 135,288 casos, del cual el 35.68% no tiene ningún seguro; 32.44% solo tiene ESSALUD; 27.68% solo tiene seguro integral de salud (SIS); 2.53% solo tiene seguro de fuerzas armadas o policiales; 0.73% solo tiene seguro privado de salud; 0.56% solo cuenta con otro seguro; 0.16% tienen ESSALUD y seguro privado de salud; 0.08% tiene ESSALUD y seguro de fuerzas armadas o policiales; 0.05% tiene ESSALUD y otro seguro; 0.02% tiene seguro integral de salud (SIS) y ESSALUD; 0.02% tiene seguro integral de salud (SIS) y seguro privado de salud; 0.02% tiene seguro de fuerzas armadas o policiales y otro seguro; 0.01% tiene seguro integral de salud (SIS) y otro seguro; 0.01% tiene ESSALUD, seguro privado de salud y otro seguro; 0.01% tiene seguro de fuerzas armadas o policiales y seguro privado de salud; y el 0.00% tiene seguro privado de salud y otro seguro (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017).

3.1.7. Educación

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática, (2017). La población educativa se presenta en 129,739 casos, del cual el 38.83% sí asiste a algún colegio, instituto o universidad y el 60.17% no asiste a algún colegio, instituto o universidad

3.1.8. Aspectos económicos

La población económicamente activa está en correlación con el desarrollo urbano que se da en el área urbana de la ciudad de Puno, determinado por las actividades económicas realizadas, las cuales están distribuidas dentro de las microcuencas del área urbana. La población en edad de trabajar según la condición de actividad son de 109,265 habitantes, de las cuales 78,005 corresponde a la población económicamente activa y 31,260 corresponde a la población económicamente inactiva (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017).

3.1.9. Actividades económicas

La población económicamente activa del distrito de Puno está concentrada en el comercio, enseñanza, administración pública y entre otras actividades las cuales van creciendo como el turismo y el sector de la construcción, las actividades con menor

presencia en el área poblacional son las actividades extractivas y productividad industrial entre otras actividades no convencionales.

3.1.10. Aspectos físicos

El departamento de Puno presenta un clima frío y seco, condicionado por su altitud y localización geográfica en el cual interactúa el factor termorregulador del lago Titicaca.

Los climas predominantes según el mapa climático del Perú según SENAMHI en la región de Puno son de clima lluvioso semi frígido, lluviosa con temperatura semi frígido y húmedo típico de clima de la región andina entre los 3500 a 6000 msnm, con presencia de precipitaciones pluviales en promedio de 700 mm, y una temperatura media anual entre 7°C y presencia de altas montañas las cuales se caracterizan por inviernos secos, heladas moderadas y veranos lluviosos como se observa en el área urbana.

Los meses entre diciembre y marzo presentan precipitaciones pluviales con mayor intensidad, los cuales están condicionados por la presencia del fenómeno del niño que interactúan con los anticiclones del atlántico y movimiento de los casquetes polares, influenciando en las temperaturas y precipitaciones variadas generando inundaciones o sequías.

3.1.11. Clasificaciones climáticas del área urbana de la ciudad de Puno

En base a la clasificación climática de Warren Thornthwaite, el área urbana de la ciudad de Puno, presenta la siguiente clasificación climática: (C (o, i) C'H2) con una incidencia del 74.18%, la cual se define como zona de clima semiseco y frío, con deficiencia de lluvia en otoño e invierno y una humedad relativa calificada como seco; (B (o, i) D'H3) con una incidencia del 20.75%, se define como zona de clima semi-frío, lluvioso, con lluvia deficiente en otoño e invierno, con humedad relativa calificada como húmeda (SENAMHI, 1988).

3.1.12. Climatología

El clima del área urbana de la ciudad de Puno se clasifica como frío, seco y lluvioso, las temperaturas fluctúan entre 0.40°C a 15.40°C, con valores registrados en la estación Puno de precipitaciones pluviales con un valor de 71.6 mm en 24 horas,

corresponde al mes de enero de 1990 y una precipitación promedio anual de 650 mm, los cuales se presentan en su mayor frecuencia entre los meses de diciembre a marzo y con mayor recurrencia en el mes de enero (Municipalidad Provincial de Puno, 2011).

- **Estación CP Puno:** En referente a las precipitaciones pluviales registradas por la estación Puno, se puede observar que la mayor intensidad se presenta entre los meses de diciembre a marzo con registros de 14.20 mm a 19.90 mm (precipitaciones fuertes), 26.0 mm a 33.8 mm (precipitaciones muy fuertes) y 38.6 mm a 78.2 mm (precipitaciones máximas). Por otro lado, la menor intensidad de precipitación pluvial es registrada entre los meses de junio a agosto con valores de 4.0 mm a 8.2 mm (precipitaciones muy fuertes) y 24.2 mm a 35.8 mm (precipitaciones máximas) (SENAMHI, 2019).

3.1.13. Ecología

En el área urbana de la ciudad de Puno se observa una gran diversidad de flora y fauna, debido a la ubicación geográfica dentro del área circunlacustre del lago Titicaca, presentando un ecosistema que genera las condiciones necesarias para el desarrollo de la biodiversidad como son: el ganado vacuno, camélidos, especies piscícolas nativas, entre otras. En cuanto a la flora, se observa ichu, totorales, pastos, cultivos de papa, cultivos de cebada, cultivos de quinua, cultivo de haba las cuales están ubicadas en zonas de productividad, zona de conservación ecológica y zona de recuperación los cuales son considerados suelos no urbanizables.

3.2. Población

La población considerada para la presente investigación, al año 2017 en el área urbana de la ciudad de Puno, es de 129,922 hab. de los cuales de 63,696 hab. son varones y 66,226 hab. son mujeres, el cual corresponde al 96,03 % de la población a nivel distrital y el 11,53% de la población del departamento de Puno según el (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017).

3.3. Muestra

El centro urbano de la ciudad tiene un entorno de potencial crecimiento, con un área aproximada de 15.57 km^2 , que está dentro de la microcuenca de la bahía interior del lago Titicaca.

A consideración de lo referido, la investigación es de muestreo no probabilístico, es decir a criterio del investigador, en el cual la muestra va a depender de la investigación, el objeto de estudio y disponibilidad de datos e información (Monje, 2011).

3.4. Método de investigación

3.4.1. Tipo de diseño de investigación

La presente tesis es de tipo explicativa, diseño cuantitativo con alcance de estudio descriptivo, caracterizando el medio físico y atmosférico para determinar un índice de afectación del riesgo natural en el área urbana de la ciudad de Puno ante precipitaciones pluviales, identificando zonas propensas a futuros riesgos naturales (Hernández *et al.*, 2010).

3.4.2. Método de investigación

La caracterización de los riesgos naturales se realiza usando la metodología de la investigación de tipo no experimental, diseño de investigación transversal, lo cual permitió establecer un orden lógico para la determinación de los objetivos específicos planteados en la presente tesis (Hernández *et al.* 2014).

3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

- a) Para la identificación de los niveles de peligrosidad ante precipitaciones pluviales en el área urbana de la ciudad de Puno se realiza el proceso metodológico como se detalla a continuación.
 - Revisión detallada de información bibliográfica sobre la zona de estudio realizado por entidades públicas y privadas, sobre los factores que determinan la susceptibilidad a peligros naturales.
 - Evaluación y análisis del área de estudio con imágenes satelitales, fotografías aéreas, cartografía y bibliografía referida a riesgos naturales.

- Se realiza mapas base del área urbana de la ciudad de Puno a escala 1/1000, para poder ubicar y contrastar los factores que determinan la susceptibilidad de los peligros geológicos ante precipitaciones pluviales.
 - Identificación y demarcación del área urbana de la ciudad de Puno.
 - Caracterización de peligros naturales generados por precipitaciones pluviales.
 - Mapeo geológico, litológico, geomorfológico y zonas geotécnicas del área urbana de la ciudad de Puno.
 - Identificación de factores condicionantes y desencadenantes.
 - Análisis de elementos expuestos en zonas susceptibles.
 - Estratificación del nivel de peligrosidad de acuerdo a umbrales de precipitación.
 - Definición de escenario en condiciones de precipitaciones máximas diarias.
 - Procesamiento de datos de campo con herramientas del sistema de información geográfica; ArcGis 10.7, Global Mapper, SasPlanet, entre otros.
 - Evaluación y análisis de los descriptores obtenidos mediante la metodología del procesamiento de análisis jerárquico y la tabla de importancia según la escala de Saaty.
 - Determinación de los índices y niveles de peligrosidad.
 - Evaluación espacial multicriterio de parámetros y descriptores.
 - Determinación grafica de los niveles de peligrosidad y susceptibilidad.
 - Elaboración del mapa de peligrosidad y susceptibilidad.
- b)** Para determinar los niveles de vulnerabilidad ante precipitaciones pluviales en el área urbana de la ciudad de Puno.
- Revisión detallada de información bibliográfica sobre la zona de estudio realizado por entidades públicas y privadas, sobre los factores que determinan la vulnerabilidad.

- Determinación de los parámetros y descriptores de la vulnerabilidad presente en el área urbana de la ciudad de Puno.
 - Análisis de los parámetros y descriptores mediante la metodología del procesamiento de análisis jerárquico y tabla de importancia según la escala de Saaty.
 - Determinación de los índices de niveles de vulnerabilidad.
 - Determinación del índice de vulnerabilidad representativa del área urbana de ciudad de Puno.
 - Procesamiento de datos de vulnerabilidad del área urbana de la ciudad de Puno mediante herramienta de sistema de información geográfico, considerando el índice de vulnerabilidad estimado.
 - Elaboración del mapa de vulnerabilidad.
 - Estimación de los índices de riesgo natural ante precipitaciones pluviales en el área urbana de la ciudad de Puno.
 - Procesamiento de mapa de riesgo, considerando la peligrosidad y vulnerabilidad del área urbana de la ciudad de Puno mediante herramientas del sistema de información geográfico.
- c) Para enunciar medidas de mitigación de los riesgos naturales ante precipitaciones pluviales en el área urbana de la ciudad de Puno se realiza el proceso metodológico como se detalla a continuación.
- Revisión bibliográfica de parámetros a considerar para poder realizar una correcta formulación y proponer medidas de control y mitigación de los riesgos en las zonas críticas del área urbana estudiada.
 - Revisión y análisis de los mapas de peligrosidad y vulnerabilidad ante precipitaciones pluviales en el área urbana de la ciudad de Puno, 2018.
 - Propuesta de medidas de control y mitigación de los riesgos naturales presentes en el área urbana ante precipitaciones pluviales, con índice de nivel de peligrosidad de alto a muy alto.

3.5.1. Técnicas e instrumentos para el procesamiento de datos

Las técnicas e instrumentos para el procesamiento de datos, nos ayudan a establecer un modelo jerárquico para la resolución de parámetros multicriterio y la toma de decisiones en relación a su significancia en la determinación del índice de afectación del riesgo natural ante precipitaciones pluviales en el área urbana de la ciudad de Puno, siguiendo un manejo de la información espacial que nos permiten cuantificar los factores involucrados en los riesgos naturales.

3.5.1.1. Metodología de procesamiento de análisis jerárquico

La toma de decisiones está basada en el análisis de la estructura del problema en el cual se identifica el fenómeno natural para indicar los parámetros a evaluar, determinando así los descriptores que se analizarán.

En la etapa de análisis del problema se considera los descriptores desde el punto cualitativo o de características cuantitativa y su nivel de significación como factor condicionante o desencadenante para su respectiva categorización según su importancia para un procesamiento coherente.

El proceso de análisis jerárquico tiene como punto central, la asignación de ponderados a los parámetros y descriptores relacionados con una decisión y la calificación final de las diferentes alternativas respecto de los criterios seleccionados según el manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, según la escala de Saaty, controlados por un índice de consistencia por el cual se realiza la validación de la significación de los criterios asumidos.

El procesamiento de análisis jerárquico presenta ventajas frente a otros métodos de decisión multicriterio, debido a que: 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 la verificación del índice de consistencia y realizar las correcciones necesarias; generar la posibilidad de realizar el análisis de sensibilidad; es de fácil uso y acoplamiento a métodos numéricos (Saaty, 1987).

3.5.1.2. Asignación de importancia según la escala numérica de Saaty

La asignación de importancia según la escala numérica de Saaty ayuda a establecer pesos relativos en razón de un descriptor a otro, para buscar un análisis cuantitativo de significancia y pesos ponderados por cada uno de ellos estableciendo niveles de importancia e influencia de las diferentes unidades especiales como se describe en la tabla 6 (Mejía, 2014).

Tabla 6
Escala numérica según Saaty

Escala numérica	Escala verbal	Interpretación
9	Absolutamente o muchísimo más 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	Más 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.	

Fuente: (Saaty, 1987)

3.5.1.3. Ponderación de parámetros, criterios y descriptores

Para el análisis del método multicriterio se construye una matriz cuadrada con los aspectos que se consideran relevantes, escenarios, factores tanto cualitativos y cuantitativos como se ve en la ecuación (1).

$$A = A_{ij} \quad (1)$$

3.5.1.4. Estimación de pesos ponderados

Se inicia con la construcción de una matriz donde se comparan criterios uno respecto al otro en su grado de importancia, el cual dará como resultado la ponderación de los mismos como se en la ecuación (2).

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Luego se realiza una suma vertical de cada columna, con el fin de obtener valores, ecuación (3).

$$V1, V2, \dots Vn = \sum_{i=1}^n a_i \quad (3)$$

Como segundo paso se construye la matriz de comparaciones normalizada, en función a la sumatoria de cada columna y los elementos de la matriz, ecuación (4).

$$A_{NORMALIZADA} = \begin{bmatrix} 1/v1 & a_{12}/v2 & \dots & a_{1n}/vn \\ a_{21}/v1 & 1/v2 & \dots & a_{2n}/vn \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1}/v1 & a_{n2}/v2 & \dots & 1/vn \end{bmatrix} \quad (4)$$

Como tercer paso se obtiene el vector prioridad el cual nos mostrara pesos ponderados de cada criterio a partir de la matriz normalizada, para el cual se determina el vector columna, ecuación (5).

$$p = \begin{pmatrix} \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{1j} \\ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{2j} \\ \dots \\ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{nj} \end{pmatrix} \quad (5)$$

Y se obtiene el vector de prioridad de los criterios, ecuación (6).

$$p = \begin{pmatrix} p_{c11} \\ p_{c12} \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ p_{c1n} \end{pmatrix} \quad (6)$$

Se debe indicar que la suma de los elementos del vector prioridad debe ser igual a 1, ecuación (7).

$$\sum_{i=1}^n P_{cli} = P_{c11} + P_{c12} + \dots + P_{c1n} = 1 \quad (7)$$

3.5.1.5. Estimación de la relación de consistencia (RC)

Considerando los juicios y criterios expresados se verifica la posible existencia de consistencia. El vector suma ponderada es el resultado de la multiplicación de la matriz de comparaciones pareadas con la matriz de prioridades de criterios como se ve en la ecuación (8).

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \times \begin{pmatrix} p_{c11} \\ p_{c12} \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ p_{c1n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} VSP_{11} \\ VSP_{12} \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ VSP_{1n} \end{pmatrix} \quad (8)$$

Como segundo paso dividimos los elementos de la ventora suma ponderada entre su correspondiente valor de prioridad para cada uno de los criterios, ecuación (9).

$$\begin{aligned} \frac{VSP_{11}}{P_{C11}} &= \lambda_1 \\ \frac{VSP_{12}}{P_{C12}} &= \lambda_2 \\ &\dots \\ &\dots \\ &\dots \\ \frac{VSP_{1n}}{P_{C1n}} &= \lambda_n \end{aligned} \quad (9)$$

Como tercer paso determinamos la lambda máxima(λ_{max}), el cual nos permite estimar el índice de consistencia, ecuación (10).

$$\lambda_{max} = (\lambda_{n1} + \lambda_{12} + \dots + \lambda_n) / n \quad (10)$$

En el cuarto paso estimamos el índice de consistencia (IC), para determinar la relación de consistencia de la matriz para verificar si las decisiones fueron adecuadas, ecuación (11).

$$IC = (\lambda_{\max} - n) (n / - 1) \quad (11)$$

Estimamos la relación de consistencia como se ve en la ecuación (12), el cual está en función de dos parámetros, el IA que refiere al índice aleatorio de una matriz de comparaciones pareadas estimada de forma aleatoria y los valores del índice aleatorio para los diferentes “N” el cual es el resultado de una simulación de 100,000 matrices, las cuales se detallan en la tabla 7.

Tabla 7

Índice aleatorio de una matriz de comparaciones pareadas

N	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
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

Fuente: (CENEPRED, 2014)

$$RC = IC / IA \quad (12)$$

NOTA: para matrices de 3 parámetros la RC debe ser menor a 0.04, para matrices de 4 parámetros la RC debe ser menor a 0.08 y para matrices mayores a cuatro deben ser menos a 0.10.

3.5.1.6. Herramientas del sistema información geográfica

El uso de herramientas del sistema de información geográfica para el procesamiento de datos obtenidos en campo nos permite la identificación previa de zonas de estudio, digitalización de mapas temáticos representativos y superposición de layers.

3.5.1.7. Imagen satelital aster nivel (AST_L1T)

La imagen satelital usada es aster nivel (AST_L1T) el cual es de fácil accesibilidad con una resolución de 15 m para imágenes de color (RGB) descargados de la base de datos de science for a changing world (USGS), el cual tiene como satélite de origen a Terra con inicio de captación el en año 1999 con un tipo de orbita heliosincrónica a una distancia de 705 kilómetros el cual realiza

un ciclo de repetición de 16 días lanzando un ancho de barrido de 60 km, contando con subsistemas VNIR, SWIR y TIR (Liu & Song, 2020).

3.5.1.8. Digital elevation model (DEM)

El modelo de elevación digital considerado para la presente tesis es Alos Palsar DEM el cual es poco comercial, pero de mayor precisión en su formato Raster de 12.5 metros, los cuales fueron obtenidos entre el periodo de 2006 y 2011 por las misiones espaciales Uavsar o Airsar, realizados por la Nasa (Hancoo, 2018).

3.5.1.9. Herramientas del sistema de información geográfica (SIG)

El sistema de información geográfica cuenta con diversas herramientas informáticas que facilitan el procesamiento y dan mayor precisión al análisis de datos obtenidos en campo, así como la interrelación con otros softwares para la obtención de datos significativos, dando mayor validez a los resultados obtenidos en la presente tesis, los cuales se detallan en la figura 4.

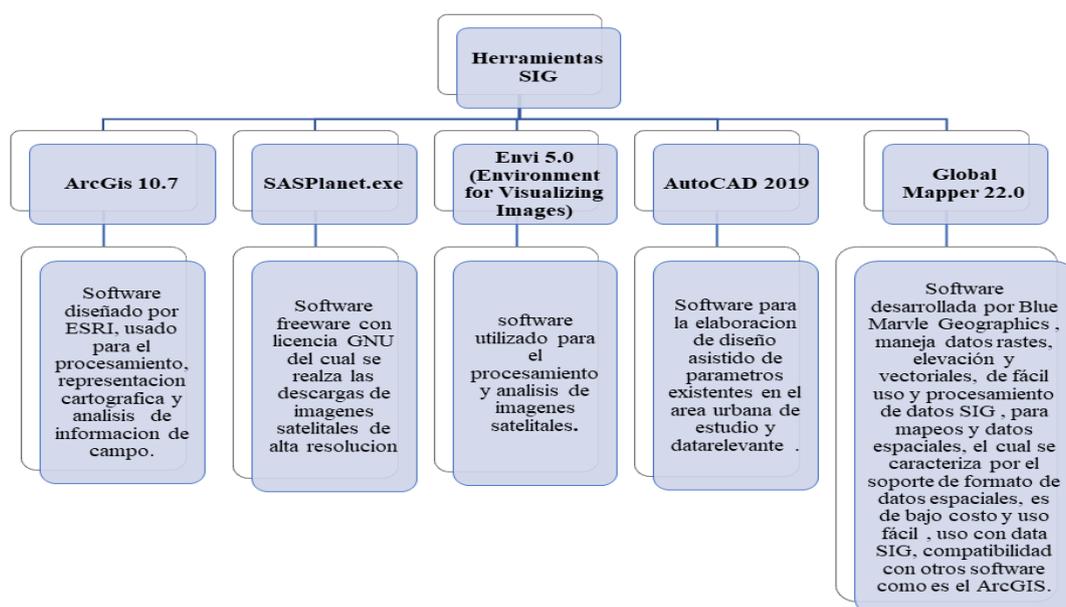


Figura 4. Herramientas de sistema de información geográfica (SIG)

1.5.1.10. Aceptabilidad y tolerancia de riesgos

Se considera aceptabilidad de riesgos, cuando los valores estimados no superan los límites referidos en los niveles de consecuencia; niveles de frecuencia de ocurrencia; matriz de consecuencia y daños; medidas cualitativas de consecuencias y daño los cuales se concatenan para determinar la aceptabilidad y



la tolerancia del riesgo y el nivel de prioridad para una implementación adecuada de controles de prevención y mitigación de la probabilidad del riesgo (CENEPRED, 2014; Doyle *et al.*, 2019).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La determinación del índice de afectación del riesgo natural ante precipitaciones pluviales en el área urbana de la ciudad de Puno en el 2018 está en función a un proceso estructurado, el cual va desde el análisis de estudios previos seguida de un reconocimiento de campo y su caracterización física del área urbana, para su posterior procesamiento e interpretación de datos.

4.1. Identificación de los niveles de peligrosidad ante precipitaciones pluviales en el área urbana de la ciudad de Puno

La tabla 8 refiere a los factores condicionantes y desencadenantes del riesgo natural del área urbana de la ciudad de Puno, se observa a la precipitación pluvial máxima en 24 horas como un factor desencadenante de riesgos naturales, de la misma manera se refiere a la litología, geomorfología, pendiente y zonificación geotécnica como factores propios del ámbito geográfico que son susceptibles eventos extraordinarios en función a características físicas propias de cada unidad.

De la misma manera INDECI (2005), refiere que las precipitaciones pluviales son los principales factores desencadenantes de inestabilidad de ladera en correlación con las características propias del ámbito de estudio.

Tabla 8

Factores condicionantes y desencadenantes del riesgo natural del área urbana de Puno

Factor desencadenante		Factores condicionantes		
Precipitación pluvial	Litología	Geomorfología	Pendiente	Zona geotécnica

4.1.1. Factores desencadenantes

Las precipitaciones pluviales máximas en 24 horas como agente desencadenante sobre el medio físico, generaran condiciones de riesgo categorizadas mediante umbrales de precipitación para la obtención de los índices de afectación de los niveles de riesgo en el área urbana de la ciudad de Puno.

4.1.1.1. Precipitaciones pluviales en el área urbana de la ciudad de Puno

Las precipitaciones pluviales se presentan con una intensidad relativa cada año como se observa en la figura 5, correspondiente a datos registrados por la estación pluviométrica Puno, usadas para la identificación de umbrales de precipitación de lluvias diarias mayores a 0.10 mm del año 1964 al 2018, con 39,312 datos tomados a 07:00 horas y 17:00 horas del día.

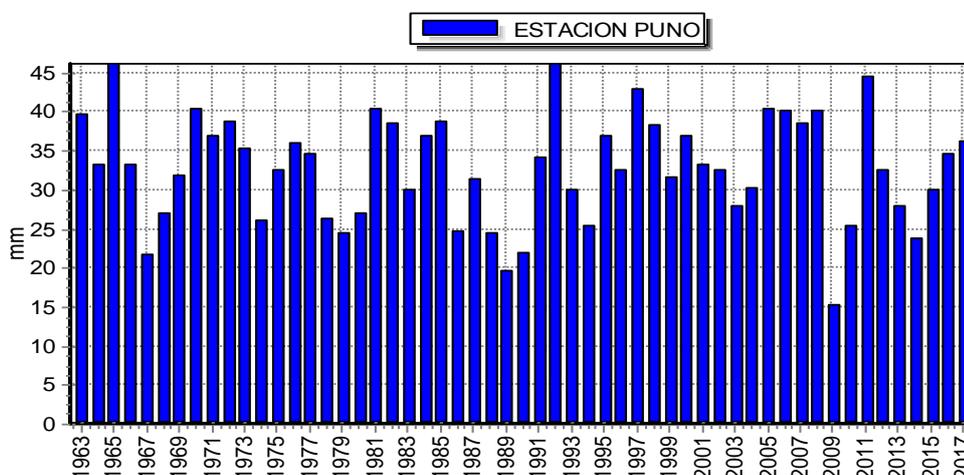


Figura 5. Precipitación anual del 1964 al 2018, registrada por la estación Puno

4.1.1.2. Análisis estadístico de datos de precipitación pluvial de la estación Puno

El análisis estadístico de la prueba de normalidad nos permite identificar el uso de estadística paramétrica, en el cual todos los datos deben tener una distribución normal y una homogeneidad de varianza, asimismo las estadísticas paramétricas no tienen presuposiciones y se pueden usar pruebas de distribución libre.

4.1.1.3. Prueba de normalidad

Para el uso de la prueba de normalidad se debe tener como criterio de decisión el número de muestras (n), donde si esta es mayor a 50 se usa Kolmogorov-Smirnov, y si el número de muestras es menor a 50 se usa Shapiro-Wilk.

En referente a lo mencionado se observan más de 50 muestras de la precipitación promedio máximas anuales en la estación Puno, para el cual se usa Kolmogorov-Smirnov.

4.1.1.4. Planteamiento de hipótesis

- H_0 : los datos tienen una distribución normal
- H_a : los datos no tienen una distribución normal

Del procesamiento estadístico de los datos de precipitaciones pluviales de la estación Puno, considerando en el nivel de significancia una confianza del 95% y una significancia (alfa) del 5%, se obtiene la tabla 9.

Tabla 9

Análisis estadístico de las precipitaciones pluviales de la estación Puno

	Descriptivos	Estadístico	Error típ.
	Media	32,802	,9265
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior 30,944 Límite superior 34,659	
	Media recortada al 5%	32,885	
	Mediana	33,100	
	Varianza	47,211	
PPmax	Desv. típ.	6,8710	
	Mínimo	15,2	
	Máximo	46,1	
	Rango	30,9	
	Amplitud intercuartil	11,5	
	Asimetría	-,241	,322
	Curtosis	-,331	,634

Así mismo se observa los resultados de la prueba normalidad de las precipitaciones pluviales registradas por la estación Puno, en la tabla 10.

Tabla 10
Prueba de normalidad de las precipitaciones pluviales de la estación Puno

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig. (p)	Estadístico	gl	Sig.
PPmax	,065	55	,200*	,985	55	,724

*. *Este es un límite inferior de la significación verdadera.*

a. *Corrección de la significación de Lilliefors.*

Considerando los resultados y el número de muestras se reconsidera criterios de decisión en función a la significancia (p): Si $p < 0.05$ rechazamos la H_0 y aceptamos la H_a ; Si $p \geq 0.05$ aceptamos la H_0 y rechazamos la H_a .

De lo anteriormente mencionado y en consideración de los resultados de la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnova: como $p \geq 0.05$ aceptamos la H_0 y rechazamos la H_a es decir que los datos tienen una distribución normal por lo tanto aplicamos estadística paramétrica.

4.1.1.5. Pruebas estadísticas paramétricas

En razón a lo antecedido se realiza la evaluación de los datos de precipitación pluvial mediante pruebas paramétricas y así mismo se realiza mediante tipo de prueba no paramétrica para tener mayor respaldo mediante el software TREND, obteniéndose los resultados referidos en la siguiente tabla.

Tabla 11
resultados de evaluación de pruebas paramétricas y no paramétricas mediante software TREND

Data file : 01.01 PH PUNO TREND.csv							
(Statistical table)							
Test statistic	z- statistic	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Result	Tipo prueba	Prueba
Mann-Kendall	-0.174	1.645	1.96	2.576	NS	No paramétrico	
Spearman's Rho	0,299	1.645	1.96	2.576	NS	No paramétrico	Tendencias
Linear regression	-0,063	1.65	1.968	2.592	NS	Paramétrico	
Cusum Cumulative deviation	16	31.342	34.939	41.875	NS	No paramétrico	
Rank Sum	0.61	1.201	1.334	1.6	NS	Paramétrico	Salto
Student's t	-0.235	1.645	1.96	2.576	NS	No paramétrico	
	-0.195	1.65	1.968	2.592	NS	Paramétrico	

De la tabla 11 se observa que los datos de precipitación media anual de la estación Puno, son confiables, en consecuencia pueden ser empleados en el análisis para periodos de retorno, para lo cual usamos el software Hydrognomon 4.1.

Para la validación de precipitaciones pluviales se usó el software Hydrognomon 4.1, considerando una distribución de probabilidad continua de base empírica de Weibull, usada para una distribución aleatoria de precipitaciones y caudales, ordenando los datos de mayor a menor y una probabilidad de incidencia ajustada a una distribución ideal como se observa en la figura 6.

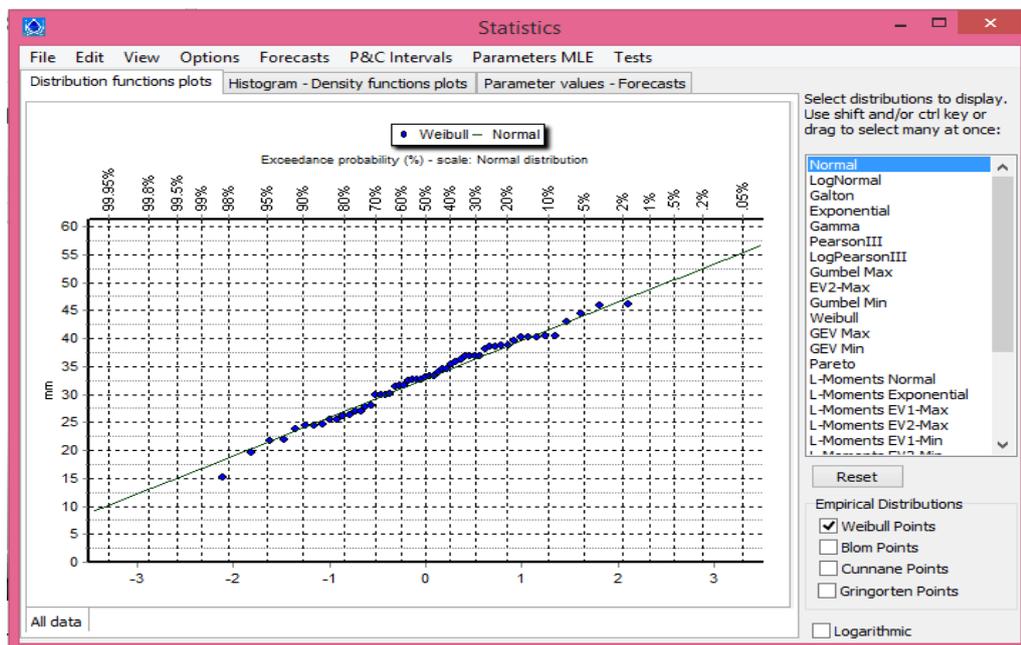


Figura 6. Distribución de la base empírica de Weibull con la distribución normal

Para observar cuál de las distribuciones teóricas se ajusta mejor a la distribución empírica de Weibull se realiza un test de bondad de ajuste denominada Kolmogórov-Smirnov, en el cual podemos observar un nivel de significancia de 5% y 10% como se observa en la Figura 7.

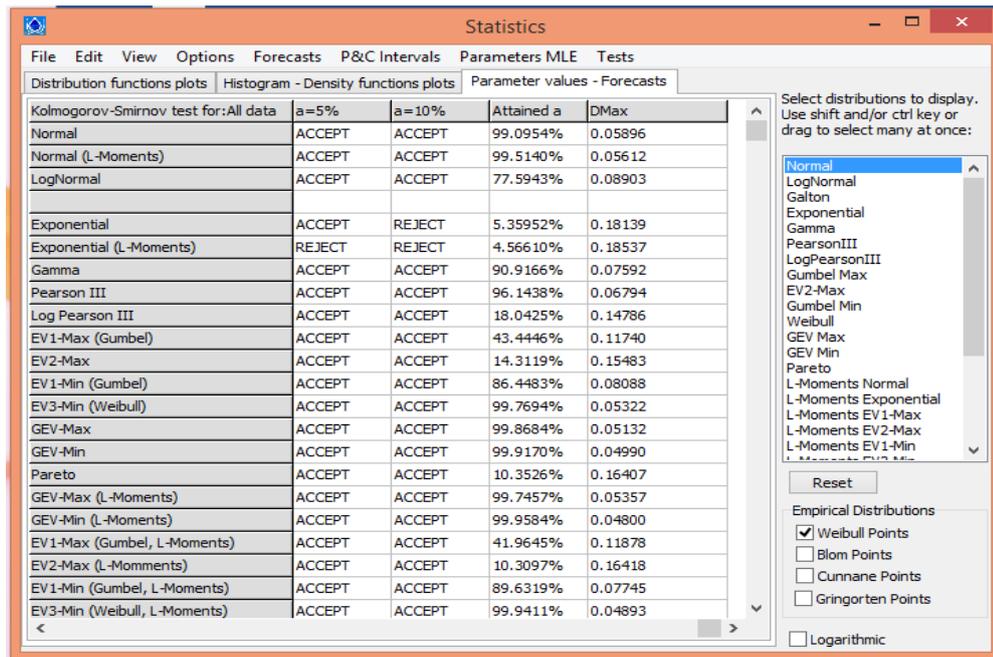


Figura 7. Test Kolmogorov-Smirnov

Se debe considerar que para el caso de precipitaciones máximas en el test Kolmogórov-Smirnov se usan la distribución normal, Lognormal, Gamma, Pearson III y LogPearson III, de los cuales la distribución normal presenta un ajuste máximo del 99.0954% y un Dmax de 0.05896, como se observa en la figura 7, siendo este el de mayor significancia.

En la figura 8 se observa un histograma de distribución de frecuencia de máximas precipitaciones pluviales en 24 horas y probabilidad de ocurrencia, observándose que hay una alta probabilidad de ocurrencia de 30 a 35 milímetros de lámina de precipitación.

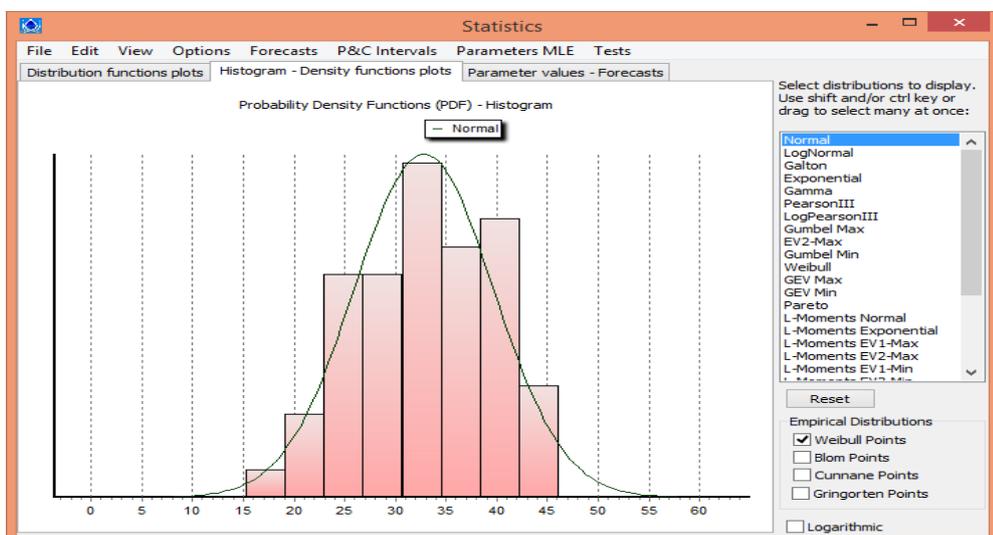


Figura 8. Función de distribución de densidad

Los periodos de retorno (T), refieren a la frecuencia de eventos extremos en un lapso de tiempo y en un área determinada.

All data - T(Max)= 5.00000 y	Value	All data - T(Max)= 15.0000 y	Value
Normal	38.5846	Normal	43.1159
All data - T(Max)= 25.0000 y	Value	All data - T(Max)= 50.0000 y	Value
Normal	44.8309	Normal	46.9132
All data - T(Max)= 100.000 y	Value		
Normal	48.7863		

Figura 9. Valores obtenidos según periodo de retorno y precipitación máxima por el software Hydrognomon 4.1

La figura 9, refiere los resultados de periodos de retorno en 5 años con una precipitación pluvial de 38.59 mm, de la misma manera periodos de retorno de 15 años con una precipitación pluvial de 43.12 mm y periodos de retorno de 25 años con una precipitación pluvial de 44.83 mm, asimismo periodos de retorno de 50 años con una precipitación pluvial de 46.91 mm y el periodo de retorno de precipitación pluvial de 100 años con precipitaciones pluviales de 48.79 mm.

La municipalidad provincial de Puno (2011), refiere que las precipitaciones pluviales promedio en 24 horas en el mes de enero de 1990 tiene una lámina de 71.60 mm, lo cual nos refiere que se presentan valores superiores obtenidos en la figura 9.

4.1.1.6. Umbrales de precipitaciones pluviales

Los umbrales de precipitación son parámetros de intensidad e impactos en función de máximas precipitaciones por métodos no paramétricos de inferencia estadística, considerándose solo las precipitaciones mayores a 0.10 mm y excluyendo los valores picos de la serie para el procesamiento metodológicos propuesta por el SENAMHI en la estimación de umbrales de precipitaciones extremas para la emisión de avisos meteorológicas correspondiente a la norma técnica 001-SENAMHI-DGM-2014.

Se consideró datos diarios de precipitaciones máximas recabados por la estación Puno, desde el año 1981 al 2018, siendo 5,960 días con precipitaciones de $RR.>0.1$ mm, de los cuales se realizó el cálculo con solo 5,959 días, debido a la exclusión del mayor valor registrado de 78.20 mm.

Tabla 12
Caracterización de umbrales de precipitación

Umbrales de precipitación	Característica	Umbrales de precipitación del área urbana de Puno
RR./día > 99p	Extremadamente lluvioso	RR./día > 26.80 mm
95p < RR./día ≤ 99p	Muy lluvioso	16.40 mm < RR./día ≤ 26.80 mm
90p < RR./día ≤ 95p	Lluvioso	12.00 mm < RR./día ≤ 16.40 mm
75p < RR./día ≤ 90p	Moderadamente lluvioso	6.40 mm < RR. /día ≤ 12.00 mm

Fuente: Elaboración propia

Donde:

- *RR/día*: es la cantidad acumulada de precipitación en 24 horas
- *99p, 95p, 90p, 75p*: percentiles expresados en %

Como se observa en la tabla 12, los umbrales de precipitación de RR/día >26.8 mm son extremadamente lluviosos, seguido de los umbrales de precipitación de parámetro de 16.4 mm < RR/día ≤ 26.8 mm correspondiente a escenarios muy lluviosos, de la misma manera se presentan umbrales de precipitación de 12.0 mm < RR./día ≤ 16.4 mm correspondientes a precipitaciones lluviosas y así mismos escenarios moderadamente lluviosos con umbrales de precipitación de 6.40 mm < RR/día ≤ 12.00 mm.

SENAMHI (2019), obtuvo valores representativos de la estación Puno, entre los meses de diciembre a marzo los cuales reflejan una precipitación máxima de valores de 38.6 mm a 78.2 mm, así mismo los valores máximos de precipitación en los meses de junio y agosto son de 24.2 mm a 35.8 mm, lo que nos refiere que existe una variabilidad de la cantidad de precipitación por cada mes y de la misma manera en referente al promedio anual.

- **Matriz normalizada y vector prioridad de los umbrales de precipitación**

La matriz normalizada de los umbrales de precipitación del área urbana de la ciudad de Puno, presenta el resultado del procesamiento de la matriz de comparación de pares a una matriz normalizada y el vector priorización de los umbrales de precipitaciones pluviales, estimadas mediante la asignación de valores según el peso de incidencia para una posterior obtención de la inversa de las sumas totales y multiplicación de los valores de cada descriptor de la misma columna, observada en la siguiente tabla 13.

Tabla 13
Matriz normalizada y vector priorización de umbrales de precipitaciones pluviales

Umbrales de precipitación	Extremadamente lluvioso, RR/día > 26.8	Muy lluvioso, 16.4 mm < RR/día < 26.8 mm	Lluvioso, 12.0 mm < RR/día ≤ 16.4 mm	Moderadamente lluvioso, 6.4 mm < RR/día ≤ 12.0 mm	Ligeramente Lluvioso RR/día < 6.4 mm	Vector Priorización (Ponderación)
Extremadamente lluvioso, RR/día > 26.8 mm	0.349	0.273	0.474	0.333	0.385	0.363
Muy lluvioso, 16.4 mm < RR/día ≤ 26.8 mm	0.349	0.273	0.158	0.333	0.231	0.269
Lluvioso, 12.0 mm < RR/día ≤ 16.4 mm	0.116	0.273	0.158	0.111	0.231	0.178
Moderadamente lluvioso, 6.4 mm < RR/día ≤ 12.0 mm	0.116	0.091	0.158	0.111	0.077	0.111
Ligeramente Lluvioso RR/día < 6.4 mm	0.070	0.091	0.053	0.111	0.077	0.080
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

En la tabla 13 se observa los vectores prioridad, que corresponden a los umbrales de precipitación extremadamente lluvioso con un valor de 0.363 siendo esta la más representativo, seguida de umbrales de precipitación muy lluvioso con un valor de 0.269, de la misma manera umbrales de precipitación lluvioso con un valor de 0.178 y umbrales de precipitación moderadamente lluvioso con un valor de 0.111, seguido de umbrales de precipitación ligeramente lluvioso con un valor de 0.080.

4.1.1.7. Estratificación de los niveles de peligrosidad por umbrales de precipitaciones pluviales en el área urbana de la ciudad de Puno

La estratificación de los niveles de peligrosidad en correlación con los umbrales de precipitación son parámetros de afectación del área urbana de la ciudad de Puno, estimados con datos obtenidos por la estación meteorológica Puno.

Tabla 14
Estratificación de los niveles de peligrosidad por umbrales de precipitaciones pluviales

Descripción	Nivel de peligro
Extremadamente lluvioso, RR./día > 26.8 mm	Muy alta
Muy lluvioso, 16.4 mm < RR./día ≤ 26.8 mm	Alto
Lluvioso, 12.0 mm < RR./día ≤ 16.4 mm	Medio
Moderadamente lluvioso, 6.4 mm < RR. /día ≤ 12.0 mm	Bajo

En la tabla 14 se observa escenarios extremadamente lluviosos con parámetros $RR./\text{día} > 26.80$ mm representado un nivel muy alto de peligrosidad, seguido de escenarios muy lluviosos con parámetros de $16.40 \text{ mm} < RR./\text{día} \leq 26.80$ mm que representa un nivel alto de peligrosidad y escenarios lluviosos de $12.0 \text{ mm} < RR./\text{día} \leq 16.40$ mm que representa un nivel medio de peligrosidad de la misma manera se observa escenarios moderadamente lluviosos de $6.40 \text{ mm} < RR. /\text{día} \leq 12.0$ mm que representa un nivel bajo de peligrosidad.

En razón al análisis de precipitaciones máximas en 24 horas referido en el mapa A-06, se observa una precipitación máxima de 32.80 mm/día a 32.20 mm/día, siendo estas de nivel de peligrosidad muy alto, correspondiente a un escenario de precipitación extremadamente lluvioso.

Según Dallimer *et al.* (2020) y Isidro *et al.* (2009) nos indica que la estratificación de los niveles de peligrosidad está en función a los umbrales del factor desencadenante mediante el cálculo de parámetros representativos expresados en rangos, como se observa en la tabla 14.

4.1.1.8. Estimación de los índices de afectación del nivel de peligrosidad ante precipitación pluvial en el área urbana de la ciudad de Puno

La estimación de la precipitación representativa como factor desencadenante, refiere a la interrelación de umbrales de precipitación con los vectores priorización representativos y la elección del escenario como factor desencadenante.

Tabla 15

Estimación de escenario de precipitaciones pluvial representativo

Umbrales de precipitación	Vector Priorización
Extremadamente lluvioso, $RR./\text{día} > 26.8$ mm	0.363
Muy lluvioso, $16.4 \text{ mm} < RR./\text{día} \leq 26.8$	0.269
Lluvioso, $12.0 \text{ mm} < RR./\text{día} \leq 16.4$	0.178
Moderadamente lluvioso, $6.4 \text{ mm} < RR. /\text{día} \leq 12.0$	0.111
Ligeramente Lluvioso $RR. /\text{día} < 6.4$ mm	0.080
Suma	1.000

En la tabla 15 se observa el umbral de precipitación extremadamente lluvioso con parámetros de $RR./\text{día} > 26.8$ mm, con un vector de priorización del 0.363, siendo el escenario con mayor posibilidad de afectación del medio físico.

Según SENAMHI (2019), los valores máximos de precipitación se dan entre los meses de diciembre a marzo con valores superiores al identificado en la tabla 15, siendo el valor extremadamente lluvioso correspondiente a precipitaciones fuertes, debido a que la muestra contemplada corresponde a precipitaciones de todo el año y no solamente a precipitaciones en determinada temporada.

4.1.2. Factores condicionantes

Los factores condicionantes están directamente correlacionados con las características físicas de la zona de estudio que interactúa con las precipitaciones pluviales generando peligrosidad en el área urbana.

Tabla 16

Factores condicionantes

Factores condicionantes			
Litología	Geomorfología	Pendiente	Zona geotécnica

Dallimer *et al.* (2020), refiere que los factores topográficos, el tipo de suelo y la geomorfología son características físicas que condicionan la generación y aceleración de riesgos naturales, las cuales varían en función a cada tipo de contexto, siendo necesario la identificación en campo cada una de ellas, a estas condiciones es que se refiere en la tabla 16, como factores condicionantes del área urbana de la ciudad de Puno.

4.1.2.1. Ponderación de los parámetros de peligrosidad

La ponderación de los parámetros de peligrosidad está en función a los factores condicionantes que influyen en el área urbana de la ciudad de Puno, para la generación de riesgos naturales ante precipitaciones pluviales.

Tabla 17

Matriz normalizada y vector priorización de parámetros de peligrosidad

Factores condicionantes	Pendiente	Litología	Geomorfología	Zonificación geotécnica	Vector Priorización
Pendiente	0.462	0.522	0.462	0.333	0.445
Litología	0.231	0.261	0.308	0.333	0.283
Geomorfología	0.154	0.130	0.154	0.222	0.165
Zonificación geotécnica	0.154	0.087	0.077	0.111	0.107
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

En la tabla 17 se observa el resultado del procesamiento de la matriz comparación a una matriz normalizada y el vector priorización de los factores condicionantes, estimadas mediante la asignación de valores para la obtención de la inversa de las sumas totales y posterior multiplicación del valor de cada descriptor de la misma columna.

Se observa en la tabla 17, la pendiente como el factor predominante con un vector priorización de 0.445, seguido de la litología con un vector priorización de 0.283 y la geomorfología con un valor del vector priorización del 0.165 y por último encontramos a la zonificación geotécnica siendo esta la que presenta menor valor del vector priorización de 0.107.

4.1.2.2. Litología del área urbana de la ciudad de Puno

La litología del área urbana hace referencia a formaciones y grupos de rocas que están constituidas por componentes de fracción sólida del suelo con características físicas y químicas, composición mineralógica y distribución espacial.

Tabla 18

Litología del área urbana de la ciudad de Puno

Simbología	Litología	Descripción	f (km ²)	%
Ki-an	Formación Angostura	Del mesozoico, cretácico inferior presentado areniscas blanquecinas y laminadas, intercaladas con niveles finos de lutita.	1.40	1.84%
Ki-hn	Formación Huancané	Del cretáceo inferior presenta areniscas gruesas, cuarzosas con estratificación cruzada, lentes de areniscas conglomeráticas y delgados lechos de lutitas. Aflora en los alrededores del poblado de Huancané y alcanza una potencia aproximada de 600 m.	7.54	9.95%
Kis-Ay	Formación Ayabaca	Del cenomaniano–cretácico superior Constituido por calizas grises y calizas lutáceas. Su localidad tipo se encuentra en el poblado de Ayabaca. Tiene una potencia aproximada de 300 m.	7.09	9.35%
NQ-Um	Formación Umayo	esta unidad consiste de flujos de lava extensos con un grosor total de más de 50 m. de espesor, y se exponen en la Laguna Umayo en el Cuadrángulo de Puno y Cuadrángulo de Acora. En esta descripción también se incluye los afloramientos con denominación Complejo Volcánico Umayo.	12.33	16.26%
P-Pu	Grupo Puno	Del Terciario inferior, Constituido por sedimentos molásicos (capas rojas), areniscas arcólicas, areniscas tufáceas, conglomerados y lutitas yesíferas. Su localidad tipo se encuentra alrededor de la ciudad de Puno.	19.23	25.37%
PN-di	Diorita	Diorita, de tipo de roca ígnea intrusiva de origen por enfriamiento de magma, de composición intermedia (52% al 63% de SiO ₂) se compone principalmente de plagioclastos.	0.28	0.37%
Pn-Ta	Grupo Tacaza	Del Oligoceno tardío a Mioceno medio, Está representado por secuencias de basaltos y arcasas en la base y aglomerados de andesita con tufo de dacita hacia el tope. Tiene su localidad en los alrededores de la mina Tacaza, distrito de Santa Lucía, provincia de Lampa. Alcanza una potencia aproximada de 3600 m.	10.29	13.58%
Q-al	Cuaternario Aluvial-Lacustre	Litología de arenas finas con limos poco consolidados, caracterizado por Gravas y arenas, Depósitos restringidos a lechos de río, gravas en matriz arenosa y limoarcillitas lenticulares, Gravas subangulosas mal clasificadas en matriz arenosa, Gravas redondeadas y arenas mal seleccionadas en matriz limoarenosa.	17.65	23.28%

Se observa que un 25.37% corresponde al grupo Puno, siendo esta la litología predominante en el área urbana de la ciudad de Puno, seguida del cuaternario aluvial con 23.28%, mientras que la diorita solo está presente en 0.37%, estos valores fueron obtenidos del trabajo de campo que posteriormente se procesaron en el software Arcgis 10.7.

Mata (2000), refiere que la litología es un factor determinante en la generación de riesgos naturales debido a la variabilidad de la composición de cada unidad litológica, así mismo refiere que una alta incidencia de una litología susceptible a erosión pluvial en zonas de pendiente elevada, contribuyen a los deslizamientos y volcamientos de masas litológicas. Por lo que se observa en la tabla 18 la identificación de una mayor incidencia de areniscas arcósicas, areniscas tufáceas, conglomerados y lutitas yesíferas que aumenta el nivel de susceptibilidad.

4.1.2.3. Matriz normalizada y vector priorización de la litología del área urbana de la ciudad de Puno

La matriz normalizada y el vector priorización son el resultado del procesamiento de la matriz de comparación de pares estimada mediante la asignación de valores según el peso de incidencia, para una posterior obtención de la inversa de las sumas totales y multiplicación de los valores de cada descriptor de la misma columna.

Tabla 19
Matriz normalizada y vector priorización de unidades litológicas

Litología	Cuaternario Aluvial	Grupo Puno	Formación Huanane	Grupo Tacaza	Formación Ayabacas	Formación Umayo	Formación Intrusivo Diorítico	Vector priorización
Cuaternario Aluvial	0.34	0.42	0.40	0.33	0.25	0.22	0.21	0.31
Grupo puno	0.17	0.21	0.27	0.22	0.25	0.22	0.21	0.22
Formación Huanane	0.11	0.10	0.13	0.22	0.17	0.22	0.21	0.17
Grupo Tacaza	0.11	0.10	0.07	0.11	0.17	0.16	0.17	0.13
Formación Ayabacas	0.11	0.07	0.07	0.06	0.08	0.11	0.08	0.08
Formación Umayo	0.08	0.05	0.03	0.04	0.04	0.05	0.08	0.06
Intrusivo Diorítico	0.07	0.04	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04
Suma	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

En la tabla 19 se observa una mayor incidencia del cuaternario aluvial con un vector priorización de 0.31, seguida del grupo puno con un vector priorización de 0.22, mientras que el intrusivo diorítico solo tienen un valor del 0.04 de vector priorización.

Esto nos indica que el cuaternario aluvial es más susceptible a precipitaciones pluviales en contraposición al intrusivo diorítico, desde el punto de vista litológico.

4.1.2.4. Geomorfología en el área urbana de la ciudad de Puno

La geomorfología hace referencia al relieve superficial del área urbana, expresada en determinadas unidades, las cuales describen características físicas para entender su origen y posibles comportamientos ante factores desencadenantes.

Tabla 20
Unidades geomorfológicas del área urbana de la ciudad de Puno

Simbología	Unidad	Descripción	f (km ²)	%
M-LA	Ladera con pendiente alta	Terreno Inclinado Alto en una montaña (25°-50°).	17.67	23.33 %
M-LM	Ladera con pendiente media	Terreno Inclinado Medio en una montaña (15°-25°).	17.43	23.01 %
M-Ci	Cima	Parte más elevada de un cerro o montaña.	7.92	10.46 %
DA	Deposito aluvial	Sedimentos conformados por masas inestables de arenas, arcillas, gránulos, guijarros, cantos y bloques angulosas o redondeadas con matriz limo arcillosa con presencia de nivel freático y contenido orgánico.	7.63	10.07 %
M-VoP	Planicie	Extensión de terreno más o menos plana.	7.55	9.97%
M-LB	Ladera con pendiente baja	Terreno Inclinado Bajo en una montaña (08°-15°).	5.02	6.63%
F-VF	Valle en V	Depresión de terreno en forma longitudinal (Fluvial).	3.27	4.32%
L-Lli	Llanura de inundación	Planicie lacustrina, con inundación en tiempos de lluvia.	3.07	4.05%
M-CM	Colina media	Elevación de terreno con pendiente media-alta (max.50 m.)	2.55	3.37%
M-CB	Colina baja	Elevación de terreno con pendiente baja-media (max.150 m.).	0.53	0.70%
M-VoE	Escarpa	Fuerte desnivel en los terrenos que delimita superficies planas.	0.48	0.63%
L-LI / M-LI	Llanura	Planicie lacustrina, superficie plana con poca elevación.	0.3	0.40%
M-Lo	Lomada	Elevación de terreno con pendiente baja (max. 10 m.)	0.12	0.16%

En la tabla 20, se observa una predominancia de ladera con pendiente alta con 23.33%, seguida de ladera con pendiente media con 23.01%, sin embargo, la unidad morfológica con menor presencia son lomadas con 0.16% de la totalidad del área urbana, obtenidas del procesamiento en el software Arcgis 10.7.

Bevacqua *et al.* (2018) y Rossi *et al.* (2019), identifican a los procesos geomorfológicos como factor desencadenante y determinante en la generación de riesgos de deslizamientos, debido a la variabilidad de las geoformas presentes en el área geográfica. De la misma manera en la tabla 20 se identificaron las unidades presentes en el área urbana de la ciudad de Puno con una incidencia mayoritaria de laderas con pendiente altas y medias, siendo estos estas unidades susceptibles a la generación de riesgos naturales.

4.1.2.5. Matriz normalizada y vector priorización de la geomorfología del área urbana de la ciudad de Puno

La matriz normalizada y el vector priorización de las unidades geomorfológicas, son el resultado del procesamiento de la matriz de comparación de pares estimadas mediante la asignación de valores según el peso de incidencia para una posterior obtención de la inversa de las sumas totales y multiplicación de los valores de cada descriptor de la misma columna.

Tabla 21
Matriz normalizada y vector priorización de unidades geomorfológicas

Unidad Geomorfológica	Cima	Ladera con Pendiente Alta	Ladera con Pendiente Media	Ladera con Pendiente Baja	Colina Media	Colina Baja	Planicie	Escarpa	Lomada	Valle en V	Llanura	Llanura de inundación	Vector Priorización
Cima	0.219	0.313	0.314	0.283	0.210	0.177	0.140	0.134	0.125	0.109	0.124	0.093	0.187
Ladera con Pendiente Alta	0.109	0.156	0.209	0.188	0.210	0.177	0.140	0.134	0.125	0.109	0.124	0.093	0.148
Ladera con Pendiente media	0.073	0.078	0.105	0.188	0.210	0.177	0.140	0.134	0.125	0.109	0.124	0.093	0.130
Ladera con Pendiente Baja	0.073	0.078	0.052	0.094	0.140	0.177	0.140	0.134	0.125	0.109	0.099	0.093	0.110
Colina Media	0.073	0.052	0.035	0.047	0.070	0.118	0.140	0.134	0.125	0.109	0.099	0.093	0.091
Colina Baja	0.073	0.052	0.035	0.031	0.035	0.059	0.094	0.134	0.125	0.109	0.099	0.093	0.078
Planicie	0.073	0.052	0.035	0.031	0.023	0.029	0.047	0.089	0.083	0.109	0.074	0.093	0.062
Escarpa	0.073	0.052	0.105	0.031	0.023	0.020	0.094	0.045	0.083	0.109	0.074	0.093	0.067
Lomada	0.073	0.052	0.035	0.031	0.023	0.020	0.023	0.022	0.042	0.073	0.074	0.093	0.047
Valle en V	0.073	0.052	0.035	0.031	0.023	0.020	0.016	0.015	0.021	0.036	0.074	0.093	0.041
Llanura	0.044	0.031	0.021	0.024	0.018	0.015	0.016	0.015	0.014	0.012	0.025	0.056	0.024
Llanura de inundación	0.044	0.031	0.021	0.019	0.014	0.012	0.009	0.009	0.008	0.007	0.008	0.019	0.017
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Se observa a la unidad geomorfológica cima con un vector de priorización de 0.187, seguida de ladera con pendiente alta con un vector priorización de 0.148, sin embargo, la llanura de inundación presenta un vector priorización con 0.017, siendo este el menor valor de las unidades geomorfológicas del área urbana de la ciudad de Puno.

Esto quiere decir que la cima presenta mayor susceptibilidad a factores desencadenantes de deslizamientos, seguido por ladera de pendiente alta, sin embargo, las llanuras de inundación tienen la menor susceptibilidad.

4.1.3. Pendientes en el área urbana de la ciudad de Puno

La pendiente es la inclinación superficial del medio físico respecto a un eje horizontal, habitualmente caracterizado por desniveles observables a simple vista en correlación con unidades morfológicas.

Tabla 22
Pendientes en el área urbana de la ciudad de Puno

Pendiente	Parámetro	Morfología	Descripción	f (km ²)	%
Suaves	<5°	Planicie aluvial, planicie disectada, terrazas, depósitos de pie de monte.	Terrenos planos, sujetas a inundaciones de tipo fluvial y pluvial, depósitos de pie de monte; ausencia de deslizamiento y lavado; adecuada para zonas de cultivo y urbanización sin embargo presenta mayor riesgo de inundación.	21.07	27.19%
Moderada	5° -15°	Depósitos aluviales antiguos que forman cuevas con conos de deyección.	Ubicado generalmente en pie de cuesta con posibilidad de deslizamientos y flujo de detritos.	28.54	36.84%
Fuerte	15° - 25°	Ladera suave a ondulados, ladera de montaña media, escarpe, lomadas de afloramiento intrusivos, volcánicos y sedimentarios erosionados.	Presenta erosión lineal muy incisiva; no es apto para la expansión urbana.	22.12	28.55%
Muy fuerte	25° - 45°	Afloramientos de rocas sedimentarias, intrusivas afectadas por elementos estructurales.	Presenta caídas de rocas, flujo de detritos, flujo de finos, adecuado para arborización y zona forestal	5.72	7.38%
Muy escarpada	> 45°	Barrancos, calles empinadas ubicado en las cuencas medias y altas.	Terreno con riesgos de desprendimiento, volcamiento y desplazamiento de rocas.	0.03	0.04%

En la tabla 22, se observa una mayor incidencia de pendiente moderada con 36.84%, seguido por pendientes fuerte con 28.55% de incidencia de la misma manera la pendiente muy escarpada es la de menor incidencia con 0.04% en el área urbana de la ciudad de Puno.

Hancoo, (2018) y Liu & Song, (2020), refieren que el cambio súbito de pendientes es un factor de riesgo ante precipitaciones pluviales, siendo los más susceptibles aquellos que son mayores a 30°. En la tabla 22 se identificaron 5 niveles de pendientes recurrentes en el área urbana, de las cuales son pendientes considerables desde los 15° hasta pendientes muy escarpadas mayores a 45°, siendo estas las de mayor susceptibilidad a riesgos naturales.

- **Matriz normalizada y vector priorización de las pendientes del área urbana de la ciudad de Puno**

La matriz normalizada y el vector priorización de las pendientes, son el resultado del procesamiento de la matriz de comparación de pares estimadas mediante la asignación de valores según el peso de incidencia para una posterior obtención de la inversa de las sumas totales y multiplicación de los valores de cada descriptor de la misma columna.

Tabla 23

Matriz normalizada y vector priorización de pendientes

Pendiente	> 45°	25° - 45°	15° - 25°	5° - 15°	<5°	vector priorización
> 45°	0.40	0.50	0.35	0.32	0.29	0.37
25° - 45°	0.20	0.25	0.35	0.32	0.29	0.28
15° - 25°	0.20	0.12	0.17	0.21	0.24	0.19
5° - 15°	0.13	0.08	0.09	0.11	0.12	0.11
<5°	0.08	0.05	0.04	0.05	0.06	0.06
Suma	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

En la tabla 23 se observa pendientes > 45° con un vector priorización de 0.37, siendo esta pendiente la más susceptible a generar riesgo frente a factores desencadenantes, seguida de pendientes de 25° a 45° con un vector priorización de 0.28, de la misma manera encontramos pendientes <5° con un vector priorización de 0.06 lo que nos indica que presenta menor susceptibilidad ante factores desencadenantes.

4.1.3.1. Zona geotécnica en el área urbana de la ciudad de Puno

La zonificación geotécnica está basada en el tipo de suelo residual y/o afloramiento que se encuentra presente en el área urbana de la ciudad de Puno, teniendo una relación relativa al tipo de litología adyacente.

Tabla 24

Zona geotécnica en el área urbana de la ciudad de Puno

Ítem	Zona geotécnica	f (km ²)	%
Z-1	Zona coluvial, residual y fluvio lacustre (inestable)	5.23	6.89%
Z-2	Zona aluvial (estable)	6.39	8.42%
Z-3	Zona coluvial y residual (medianamente estable)	0.79	1.04%
Z-4	Zona coluvial y residual (estable)	12.78	16.84%
Z-5	Zona de roca arenisca cuarzosa	8.74	11.51%
Z-6	Zona de roca arenisca arcósica y conglomerados	14.92	19.65%
Z-7	Zona de roca caliza (medianamente estable)	5.37	7.08%
Z-8	Zona de roca volcánica andesítica	11.11	14.64%
Z-9	Zona de roca volcánica basáltica y dacítica	10.47	13.79%
Z-10	Zona de roca diorita	0.10	0.14%

En la tabla 24, se observa una mayor incidencia de zona de roca arenisca arcósica y conglomerados en un 19.65% seguido por la zona coluvial y residual con 16.84%, así mismo una mínima presencia de zona de roca diorita con 0.14% del área urbana de la ciudad de Puno, los datos referidos fueron obtenidos del trabajo de campo que posteriormente fue procesado en el software Arcgis 10.7.

Sepúlveda (2016), indica que las zonas con mayor susceptibilidad están caracterizadas por una granulometría poco consolidada y de volúmenes de rocas sueltas. Así mismo en la investigación se identificó una mayor presencia de rocas areniscas arcósicas y conglomerados, siendo estas de poca compactación post erosión y de mayor susceptibilidad a deslizamientos frente a una precipitación extraordinaria.

- **Matriz normalizada y vector priorización de las pendientes del área urbana de la ciudad de Puno**

La matriz normalizada y el vector priorización de la zonificación geotécnica, son el resultado del procesamiento de la matriz de comparación de pares estimadas mediante la asignación de valores según el peso de incidencia para una posterior

obtención de la inversa de las sumas totales y multiplicación de los valores de cada descriptor de la misma columna.

Tabla 25

Matriz normalizada y vector priorización de la zonificación geotécnica

Zonificación geotécnica	Z-8	Z-6	Z-7	Z-4	Z-5	Z-2	Z-3	Z-1	Z-9	Z-10	Vector priorización
Z-8	0.20	0.20	0.28	0.22	0.17	0.14	0.16	0.18	0.14	0.13	0.18
Z-6	0.20	0.20	0.28	0.22	0.17	0.14	0.16	0.13	0.14	0.13	0.18
Z-7	0.10	0.10	0.14	0.22	0.26	0.21	0.16	0.13	0.14	0.13	0.16
Z-4	0.10	0.10	0.07	0.11	0.17	0.21	0.16	0.13	0.14	0.13	0.13
Z-5	0.10	0.10	0.05	0.06	0.09	0.14	0.16	0.13	0.11	0.13	0.10
Z-2	0.10	0.10	0.05	0.04	0.04	0.07	0.11	0.13	0.11	0.10	0.08
Z-3	0.07	0.07	0.05	0.04	0.03	0.04	0.05	0.09	0.11	0.10	0.06
Z-1	0.05	0.07	0.05	0.04	0.03	0.02	0.03	0.04	0.07	0.08	0.05
Z-9	0.05	0.05	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.04	0.05	0.03
Z-10	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02
Suma	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

En la tabla 25, se observa a la zona de roca volcánica andesítica con un vector priorización de 0.18 siendo esta la de mayor representatividad, de la misma manera se observa zonas de roca arenisca arcósica y conglomerados con un vector priorización de 0.18 así mismo encontramos zonas de roca diorítica con un vector priorización del 0.023, esto nos indica que las rocas dioríticas son menos susceptibles a factores desencadenantes generadores de riesgo en contraposición de las zonas de roca volcánica andesítica y roca arenisca arcósica con conglomerados.

4.1.3.2. Identificación de peligros en el área urbana de la ciudad de Puno

Las precipitaciones pluviales máximas diarias (PPmax) ocasionan una sobreacumulación de agua infiltrada, siendo esta una carga adicional acumulada en grietas generando diaclasamientos pronunciados ubicados en pendientes pronunciadas con poca vegetación y con antecedentes de deforestación, sometidos a cambios de temperaturas las cuales generan dilatación del macizo rocoso acompañado de actividades antrópicas que modifican la geomorfología y la topográfica del medio físico.

4.1.3.3. Caracterización de los peligros del área urbana de la ciudad de Puno

Los peligros presentes en el área urbana de la ciudad de Puno ante precipitaciones pluviales están correlacionados con el movimiento de masa, de desarrollo lento e imperceptibles o también pueden darse de forma muy rápida e inesperada, las

cuales dependen de las características del medio físico afectados por eventos extraordinarios.

- **Tipos de deslizamientos**

Los tipos de deslizamientos presentes en el área urbana de la ciudad de Puno son el resultado de las características físicas y el nivel de afectación realizada por las precipitaciones pluviales máximas en 24 horas.

Tabla 26
Tipos de deslizamientos

Tipo	Subtipo
Caídas	Caídas de roca (detritos o suelo)
Volcamiento	Volcamiento de roca (bloque) Volcamiento flexural de roca
Deslizamiento de roca o suelo	Deslizamiento traslacional, deslizamiento en cuña Deslizamiento rotacional.
Flujo	Flujo de detritos Flujo de tierra Deslizamiento por flujo o deslizamiento por licuación (arena, limo, detritos, roca fracturada)
Reptación	Reptación de suelo

En la tabla 26, se observa los subtipos de los deslizamientos como son la caída de rocas, volcamiento, reptación y flujo de suelos y rocas, las cuales se originan por la afectación de las precipitaciones pluviales al medio físico.

Valenzuela (2003), obtiene índices de afectación relacionado a la erosión de ladera en un 34% de áreas urbanas, seguido de flujos y deslizamientos, siendo estas de mayor presencia y consideración ante precipitaciones pluviales, así mismo se observa la presencia de subtipos de deslizamientos referidos en la tabla 26.

4.1.3.4. Análisis de elementos expuestos

Los elementos expuestos refieren a la población y el medio físico del área de estudio que es susceptible a daños generados por fenómenos naturales.

El elemento expuesto de la dimensión social está basado en parámetros de población, con una afectación de un total de 129,922 habitantes correspondientes al 96.03% de la población a nivel distrital, de los cuales 63,696 son varones y 66,226 son mujeres y en la dimensión económica se encuentran las viviendas y características propias de la infraestructura.

	OID	NOM_DEN	Count_NOM_DEN	Sum_AREA_KM2
▶	0	de 0 a 50 hab/ha	1469	11.065494
	1	de 100 a 150 hab/ha	679	3.550084
	2	de 150 a mas hab/ha	171	0.851115
	3	de 50 a 100 hab/ha	417	2.547455

Figura 10. Densidad poblacional y área de influencia

Se observa una densidad poblaciones del área urbana de la ciudad de puno de 0 hab./ha a 50 hab./ha con una incidencia del 61.43%, seguida de una densidad poblacional de 100 hab./ha a 150 hab./ha con una incidencia del 19.71%, de la misma manera se presenta una densidad poblacional de 50 hab./ha a 100 hab./ha con una incidencia del 14.14% y en las zonas céntricas del área urbana se tiene una densidad poblacional de 150 hab./ha a más con una incidencia del 4.72%.

Dallimer *et al.* (2020) y Isidro *et al.* (2009), refiere que los elementos expuestos en zonas susceptibles a riesgos naturales están caracterizados por las condiciones socioeconómicas y ambientales del área de estudio, las cuales aumentan en función a la densidad poblacional en un área geográfica determinada, como se observa en la figura 10.

4.1.3.5. Susceptibilidad del área de estudio

La susceptibilidad es la predisposición a la ocurrencia de un evento extraordinario sobre el medio físico, caracterizada por un grupo poblacional e infraestructura que habita.

	OID	NIV_SUCEP	Count_NIV_SUCEP	Sum_AREA_KM2
▶	0	ALTO	2070	19.327885
	1	BAJO	3521	32.792662
	2	MEDIO	3307	25.676475
	3	MUY ALTO	109	0.383087

Figura 11. Niveles de susceptibilidad y área de influencia

En la figura 11 se observa el resultado del procesamiento de susceptibilidad del área urbana de la ciudad de Puno, obteniendo mayor presencia del nivel bajo en un área superficial de 32.79 km^2 seguidamente se presenta un nivel medio en 25.68 km^2 , de la misma manera se observa un nivel de susceptibilidad muy alto con una menor incidencia en 0.38 km^2 .

Esto nos quiere referir que el 41.95% del área urbana tienen una susceptibilidad baja, seguida de un nivel medio en 32.84% y nivel alto en 24.72%, sin embargo, el nivel muy alto de susceptibilidad tiene menor presencia con 0.49% del área superficial ante precipitaciones pluviales con parámetros de RR./día > 26.8 mm correspondientes a precipitaciones extremadamente lluvioso.

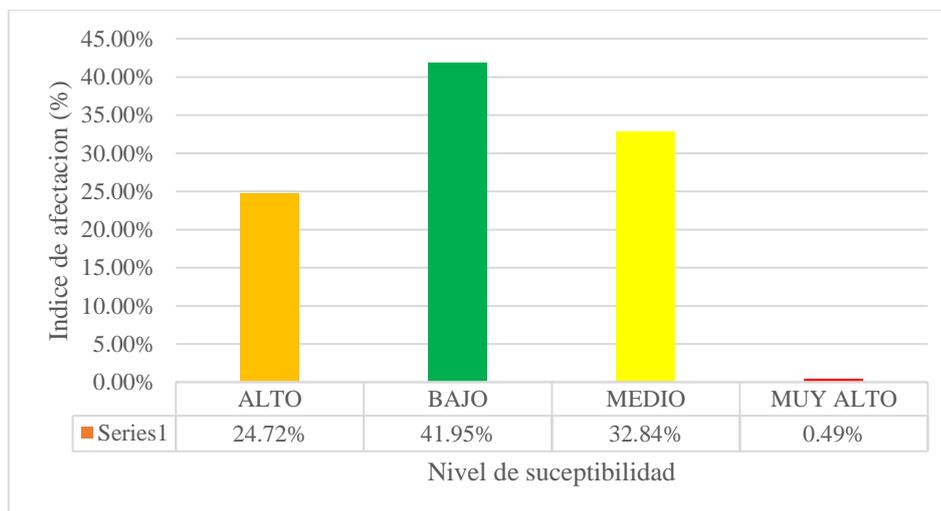


Figura 12. Incidencia de nivel de susceptibilidad

INGEMMET (2015), nos refiere que los índices de afectación a zonas de alta susceptibilidad presentes en la franja 4 se caracteriza por derrumbes, flujos y movimientos complejos con un índice de afectación del 71%, lo cual nos refleja una alta susceptibilidad. Así mismo en la figura 12 se identificaron índices de afectación de nivel bajo con 41.95% debido al tipo de granulometría y el tipo de ubicación geográfica dentro del área urbana, sin embargo, se observa la presencia de un índice de afectación alto con 24.72%, siendo este un valor considerable.

4.1.3.6. Ponderación del factor desencadenante y condicionante

La ponderación de los factores involucrados en la generación de riesgos naturales se realiza mediante la escala de valores propuestas por Saaty, siendo este el medio para la resolución de problemas complejos de criterio múltiple jerarquizando características descriptivas y asignándole un valor numérico.

Tabla 27
Escala de valores propuesta por Saaty

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
9	Absolutamente o muchísimo más importante o preferido que...	Al comparar un elemento con el 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 el otro, el primero se considera mucho más importante o preferido que el segundo.
5	Más importante o preferido que...	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera más importante o preferido que el segundo.
3	Ligeramente más importante o preferido que...	Al comparar un elemento con el otro, el primero es ligeramente más importante o preferido que el segundo.
1	Igual o diferente a...	Al comparar un elemento con el otro, hay indiferencia entre ellos.
1/3	Ligeramente menos importante o preferido que...	Al comparar un elemento con el 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 el 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 el otro, el primero se considera mucho menos importante o preferido que el segundo.
1/9	Absolutamente o muchísimo menos importante o preferido que...	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera absolutamente o muchísimo menos importante o preferido 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.	

Fuente: (Saaty, 1987)

En la tabla 27 se observa una escala numérica según la intensidad generada de un factor a otro, relacionado a una escala verbal de relación, siendo (9) el valor asignado al factor que predomina sobre otro y de forma inversa (1/9) cuando el factor es recesivo frente a otro factor. Duque (2017), el análisis multicriterio fue desarrollado por Saaty (1987), donde se mide los juicios emitidos por el investigador de manera subjetiva respecto a la importancia relativa, como se observa en la tabla 27 donde se observa la correlación entre la escala numérica y la escala verbal.

4.1.3.7. Niveles de peligrosidad

Las estimaciones de los niveles de peligrosidad están en función de los factores condicionantes y factores desencadenantes, considerando los vectores prioridad de cada componente y descriptor.

Tabla 28
Estimación de niveles de peligrosidad

Geomorfología	Factores condicionantes				Factores desencadenantes		Niveles de peligrosidad				
	Zona geotécnica	Pendiente	Litología	fc	Precipitación						
	0.165 fc-01	0.107 fc-02	0.445 fc-03	0.283 fc-04	1.000 fd						
0.187	0.031	0.180	0.019	0.370	0.164	0.309	0.088	0.302	0.363	0.363	0.332
0.148	0.024	0.176	0.019	0.281	0.125	0.220	0.062	0.230	0.363	0.363	0.297
0.110	0.018	0.131	0.014	0.188	0.084	0.166	0.047	0.163	0.363	0.363	0.263
0.067	0.011	0.104	0.011	0.105	0.047	0.127	0.036	0.105	0.363	0.363	0.234
0.017	0.003	0.023	0.003	0.057	0.025	0.039	0.011	0.042	0.363	0.363	0.202

Se observa el procesamiento de los niveles de peligrosidad, los cuales resultan del promedio del factor desencadenante y los factores condicionantes propios del medio físico, considerando el vector prioridad a nivel de parámetro en correlación a nivel de descriptor.

Esto quiere decir que los niveles de peligrosidad, tienen como base numérica a los valores representativos de los descriptores de cada parámetro, obteniéndose rangos de peligrosidad correspondientes a características propias del medio físico. Dallimer *et al.* (2020), refiere que los niveles de peligrosidad son el resultado de la interrelación de los factores condicionantes propios del área geográfica, como se observa en la figura 13, el cual es la representación numérica de los descriptores y parámetros.

Tabla 29
Rangos y niveles de peligrosidad

Rango de peligrosidad	Niveles de peligrosidad
$0.297 \leq R < 0.332$	Muy Alto
$0.263 \leq R < 0.297$	Alto
$0.234 \leq R < 0.263$	Medio
$R < 0.202$	Baja

En la tabla 29, se observa un nivel muy alto de peligrosidad entre los rangos de $0.297 \leq R < 0.332$, los cuales nos indican que todo aquel descriptor que se encuentre dentro de estos parámetros tiene tendencia a tener muy alto nivel de peligrosidad, de la misma manera se observa niveles de peligrosidad bajo de rangos $R < 0.202$.

CENEPRED (2014) y Edeso (2008), refiere que la estratificación de los niveles de peligrosidad está en función a factores condicionantes y desencadenantes, estableciendo rangos de peligrosidad, como se observa en tabla 29, donde se

observa una correlación directa entre niveles de peligrosidad y los rangos obtenidos de la tabla 28.

4.1.3.8. Estratificación de niveles de índice de peligrosidad

La estratificación de los niveles de peligrosidad ante precipitaciones pluviales, es la agrupación de características particulares del área de estudio, parametrizadas por rangos y su afectación del área superficial del área urbana de la ciudad de Puno, obtenida del procesamiento de análisis jerárquico de los parámetros y descriptores presentes.

Tabla 30
Estratificación de los niveles de índice de peligrosidad

Descripción	Rango	Nivel de peligro	f (km ²)	%
Geomorfología: cima, ladera con pendiente alta; zonificación geotécnica Z-8, Z-6; pendiente; > 45°, 25° - 45°; litología del grupo Puno y formación Huancané.	0.297 ≤ R < 0.332	Muy alto	0.07	0.37%
Geomorfología: ladera con pendiente media y ladera con pendiente baja; zonificación geotécnica Z-7 y Z-4; pendiente de 15° - 25°; litología del grupo Tacaza.	0.263 ≤ R < 0.297	Alto	2.52	13.98%
Geomorfología: colina media, colina baja, planicie, escarpa; zonificación geotécnica Z-5 y Z-2; pendiente de 5° - 15°; litología de la formación Ayabaca.	0.234 ≤ R < 0.263	Medio	3.64	20.15%
Geomorfología: lomada, valle en V, llanura, llanura de inundación; zonificación geotécnica Z-3, Z-1, Z-9, Z-10; pendiente < 5°; litología de la formación Umayo, cuaternario aluvial e intrusivo diorítico	R < 0.202	Baja	11.82	65.49%

En la tabla 30, se observa una mayor incidencia del nivel de peligrosidad bajo con 65.49%, seguido por el nivel de peligrosidad de medio con 20.15%, nivel alto de peligrosidad con 13.98% y nivel muy alto de peligrosidad con una incidencia del 0.37%.

Dallimer *et al.* (2020) y Isidro *et al.* (2009), indica que la incidencia de los niveles de peligrosidad es relativa, debido a la variabilidad del asentamiento poblacional en diferentes áreas geográficas con características físicas propias del medio. Así mismo en el estudio se observa que las características físicas del área urbana de Puno son determinantes para la estratificación de los niveles de peligrosidad.

Esto nos indica que las características físicas de la zona de estudio tienen poca predisposición a peligros naturales, debido al asentamiento de áreas urbanas en zonas de baja pendiente y con una geomorfología predominante de llanuras y lomadas, de forma, sin embargo, también encontramos la presencia de niveles altos y muy altos los cuales tienen predisposición a la ocurrencia de peligros naturales.

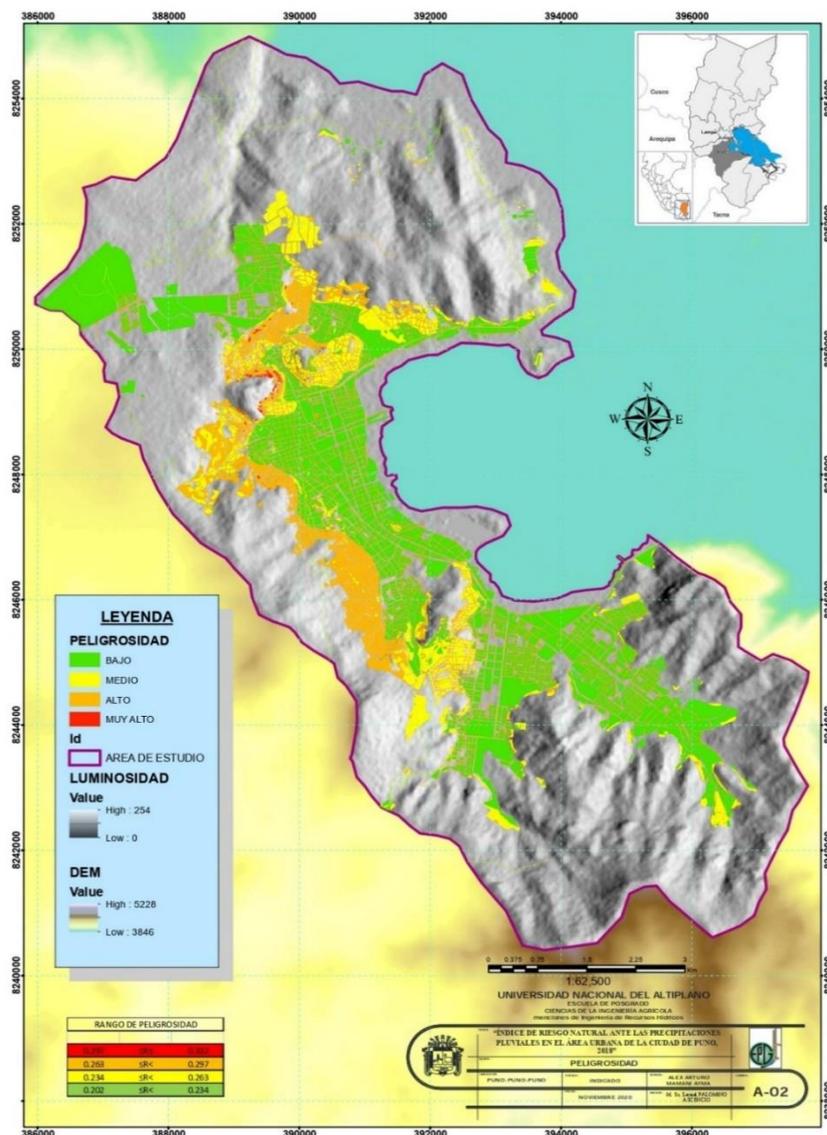


Figura 13. Mapa de peligrosidad del área urbana de la ciudad de Puno

En el mapa A-02, se observa los resultados del procesamiento de superposición de mapas temáticos de factores desencadenantes y factores condicionantes, donde se observa una mayor presencia del nivel de peligrosidad baja en contraposición al nivel de peligrosidad alta, solamente observados en zonas de pendiente alta y unidades geomorfológicas predominantes.

López *et al.* (2002), estimo en el análisis y evaluación de riesgos naturales en zonas urbanas de Tijuana, un índice de afectación de la peligrosidad de 50.66% del área urbana, siendo concordante con lo obtenido en la figura 13 con una afectación del 65.49%.

4.1.3.9. Índices de peligrosidad en el área urbana de la ciudad de Puno

Para la estimación de los índices de peligrosidad, se realizó el procesamiento de análisis jerárquico y multicriterio, considerando los factores desencadenantes y condicionantes en el área urbana de la ciudad de Puno, los cuales fueron obtenidos mediante el análisis de data registrada por instituciones nacionales, mapeo en campo, corroboración de información en campo y posterior digitalización de información con ayuda de herramientas de información geográfica para el procesamiento y la determinación de los índices representativos por cada nivel de peligrosidad presente en el área urbana de la ciudad de Puno.

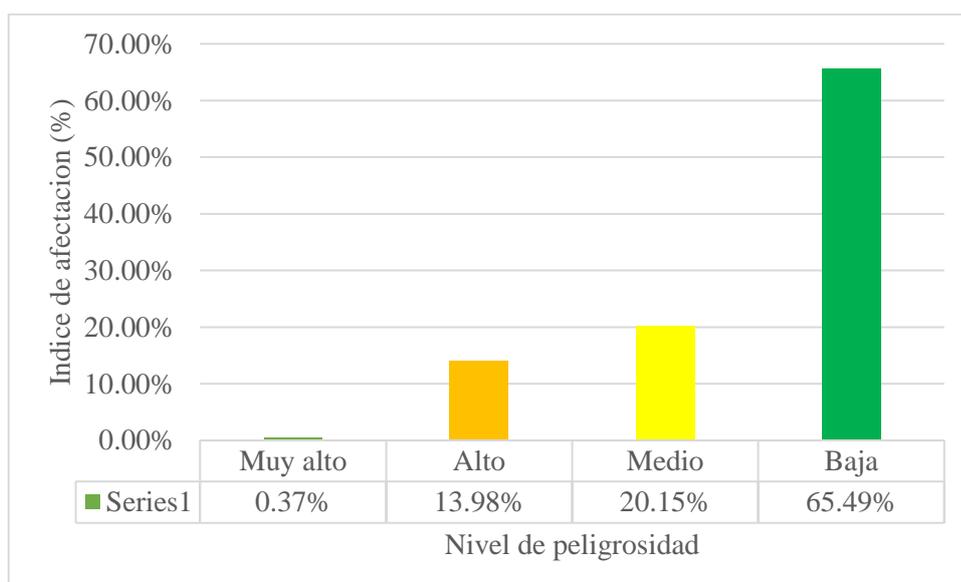


Figura 14. Incidencia de los niveles de peligrosidad

Los índices de peligrosidad ante precipitaciones pluviales en el área urbana de la ciudad de Puno se presentan correlacionados con los niveles de peligrosidad,

como se detalla a continuación: índice peligrosidad muy alto de 0.297 a 0.332 el cual tiene una incidencia del 0.4% del área urbana correspondiente a un área superficial de 0.067 km^2 ; índice de peligrosidad alto de 0.263 a 0.297 con una incidencia del 14% del área urbana correspondiente a un área superficial de 11.823 km^2 ; índice de peligrosidad medio de 0.234 a 0.263 con una incidencia del 20.2% del área urbana correspondiente a un área superficial del 3.638 km^2 e índice de peligrosidad bajo de 0.202 a 0.234 con un área de incidencia del 65.5% correspondiente a un área superficial del 11.82 km^2 , siendo está el de mayor presencia en el área urbana de la ciudad de Puno ante precipitaciones pluviales, con parámetros de $\text{RR./día} > 99\text{p}$ que representa a precipitaciones extremadamente lluvioso y valores determinados por umbrales de $\text{RR./día} > 26.8 \text{ mm}$ presenta niveles de peligrosidad alto a muy alto, como se observa en la Figura 14.

4.1.4. Discusión de los resultados de la identificación de los niveles de peligrosidad ante precipitaciones pluviales

En lo que respecta a la identificación de los niveles de peligrosidad ante precipitaciones pluviales en el área urbana de la ciudad de Puno, en este estudio se identificó cuatro niveles de peligrosidad en función a las características físicas del área urbana de la ciudad de Puno, las cuales son el nivel de peligrosidad muy alto de rango $0.297 \leq R < 0.332$, nivel de peligrosidad alto de rango $0.263 \leq R < 0.297$, nivel de peligrosidad media de rango $0.234 \leq R < 0.263$, nivel de peligrosidad baja de rango $R < 0.202$, siendo está el de mayor presencia en el área urbana de la ciudad de Puno ante precipitaciones pluviales, con parámetros de $\text{RR./día} > 99$ que representa escenarios de precipitaciones extremadamente lluvioso. Esto quiere decir que el nivel de peligrosidad bajo tiene una incidencia del 65.5% correspondiente a un área superficial del 11.82 km^2 siendo está el de mayor presencia en el área urbana de la ciudad de Puno ante precipitaciones pluviales seguido por el nivel de peligrosidad de medio con una incidencia de 20.20% medio correspondiente a un área superficial del 3.638 km^2 ; nivel de peligrosidad alto con una incidencia de 14.00% correspondiente a un área superficial de 11.823 km^2 y nivel de peligrosidad de muy alto con una incidencia del 0.40% correspondiente a un área superficial de 0.067 km^2 , frente a lo mencionado se rechaza de manera parcial la hipótesis específica uno de la

investigación, donde se refiere que los niveles de peligrosidad ante precipitaciones pluviales son de nivel alto los cuales están condicionados por las características físicas del área urbana de la ciudad de Puno, sin embargo se acepta que las características físicas influyen directamente en nivel de peligrosidad presente en el área urbana de la ciudad de Puno. Estos resultados guardan relación con lo que sostiene Guaman (2012b) en la Aplicación de SIG para el manejo de riesgos naturales en el área urbano de la ciudad de Loja refiere que el mapa de amenaza resultante indica que las zonas con amenaza baja ocupan un 34,70% del área total, mientras que las zonas con amenaza alta un 29,6% del área urbana y apenas en un 4% con grado de amenaza muy alta que representan en sí, los flujos mapeados. Así también Valenzuela (2003) en la zonificación de amenazas naturales indican que los aspectos físicos son particulares por cada zona, poseen suelos y rocas cuyo comportamiento ante los agentes climáticos traen consigo la ocurrencia de la mayoría de fenómenos naturales en el área, por lo tanto, es imprescindible contar con estos datos, así como los datos de la pendiente y sismicidad de la región, éste último por ser también un detonante para la ocurrencia en mayor escala de fenómenos de remoción en masa. De la misma manera Espíritu (2013) refiere en su estudio de los criterios geológico e hidrológicos para recomendaciones del uso de suelo en zonas urbanas sujetas a afectaciones por lluvias intensas, que las cuencas tendrán mayores afectaciones por los fenómenos geológicos asociados a precipitaciones pluviales. La mayoría de los tramos de calles afectadas, están asociados a deslizamientos y fracturamiento de la lutita, hacia las cuencas San Roque (64%), siguiendo Cerro Hueco (19%), Pocopoc (13%) y Santa Ana (2%), esta última debido a la presencia de áreas naturales que fungen como amortiguadores para el control de escurrimiento en la parte alta de las cuencas. Asimismo, la Municipalidad Provincial de Puno (2015) en el plan de desarrollo urbano de la ciudad de Puno refiere que la ocupación de terrenos en pendientes mayores al 30% les trae consecuencias, como la alta susceptibilidad a desestabilizarse por amenazas sísmicas; saturación de los suelos naturales; relleno poco consolidado; infraestructura costosa y difícil acceso a áreas susceptibles. Los afloramientos rocosos de la microcuenca, compuestos de rocas fracturadas y alteradas de muy antigua formación ofrecen en general una mayor estabilidad, aun cuando estén compuestas mayoritariamente de materiales sueltos y sedimentarios. En casos de deslizamientos es importante poner atención en los lechos de drenaje que circulan por el terreno hacia las zonas inundables porque éstos son los canales

naturales por los que discurren los detritos sedimentarios de toda la ciudad hacia el lago. SINAGERD (2014) en el plan nacional de gestión del riesgo de desastres refiere que en el periodo comprendido entre 2003 al 2012, los desastres generados por peligros de origen natural e inducidos por la acción humana, han generado impactos en la población y sus viviendas, comprometiendo seriamente su desarrollo socioeconómico, especialmente en los sectores de extrema pobreza, el 43.87% fueron por lluvias intensas e inundaciones, en cuanto a las viviendas destruidas el 29.43% se debieron a las lluvias intensas e inundaciones. Bajo lo referido anteriormente y al analizar estos resultados, confirmamos que los niveles altos y muy altos de peligrosidad se presentan en menos porcentaje a comparación de los niveles bajos y medios, las cuales dependen en gran manera de las características físicas (geomorfológicas, litológicas, pendientes y geotécnico) del área urbana de la ciudad de Puno. Es de resaltar que los eventos recurrentes generan mayores índices de afectación debido a las condiciones de fragilidad del medio físico.

4.2. Determinación de los niveles de vulnerabilidad ante precipitaciones pluviales en el área urbana de la ciudad de Puno

La vulnerabilidad refiere a la debilidad y fragilidad relacionada a componentes de exposición social y componentes de exposición económica del área urbana de la ciudad de Puno. La determinación de los niveles de vulnerabilidad mediante la estimación de un índice representativo, está basado en características propias de los componentes de exposición.

Para la estimación de la vulnerabilidad del área de estudio ante precipitaciones pluviales, es prescindible el análisis de los parámetros y descriptores de elementos expuestos mediante la metodología de Saaty el cual es un soporte matemático para la evaluación valorativa de la población afectada de acuerdo a su exposición social y económica.

4.2.1. Componente de exposición social

Los componentes de la exposición social del área urbana de la ciudad de Puno nos dan un claro indicador de la fragilidad y resiliencia social de la población, como se detalla en la figura 15. Fernández *et al.* (2017) y Tlatempa (2015), refieren que la vulnerabilidad social está relacionada directamente a las capacidades físicas y

mentales de la población, de la misma manera influyen en las condiciones de resiliencia social como se observa en la figura 15.



Figura 15. Vulnerabilidad social en el área urbana de la ciudad de Puno

4.2.2. Componente de exposición económica

La infraestructura de las viviendas y sus características propias, nos dan un claro indicador de la fragilidad y resiliencia económica de la población, como se refiere en la figura 16.

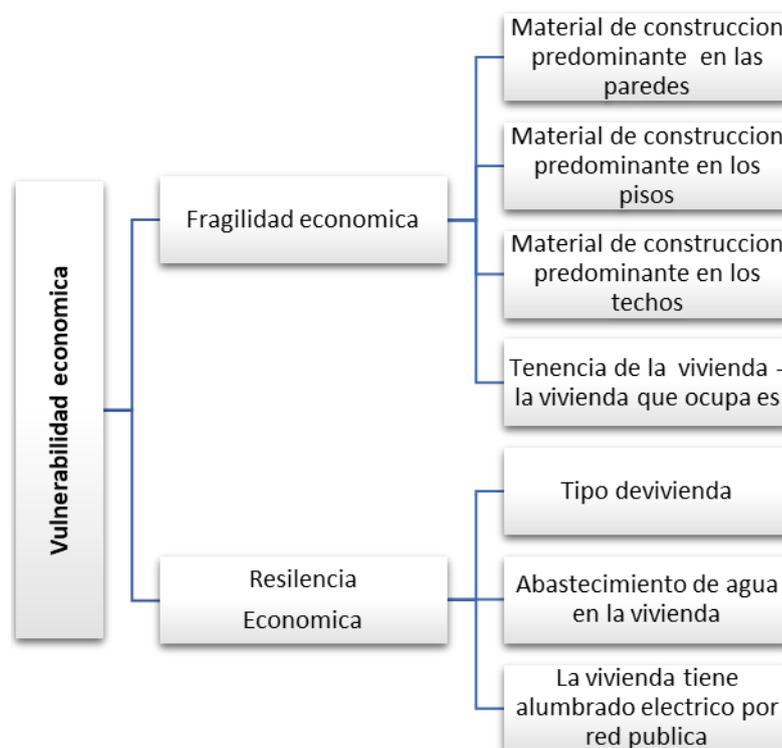


Figura 16. Vulnerabilidad económica en el área urbana de la ciudad de Puno

Guaman (2012) refiere que la vulnerabilidad económica está en función a las unidades sometidas al riesgo natural de acuerdo a su ubicación o el material de construcción, así mismo estos son parte de la fragilidad y resiliencia económica, como se observa en la figura 16.

4.2.3. Parámetros de fragilidad presentes en el área urbana de la ciudad de Puno

La categorización de fragilidad del área urbana de la ciudad de Puno está en función a características poblacionales y de infraestructura, las cuales son respaldadas por datos censales del instituto nacional de estadística e informática.

4.2.3.1. Componentes de fragilidad social

El área urbana de la ciudad de Puno presenta como componentes de fragilidad social a la población con alguna discapacidad, población según ciclo de vida y densidad poblacional como se refiere en la figura 17.



Figura 17. Componentes de fragilidad social en el área urbana de la ciudad de Puno

- **Matriz normalizada y vector priorización de parámetros de fragilidad social**

La fragilidad social refiere a las características propias de la población de forma individual o colectiva que está ligada a periodos de ciclo de vida o alguna condición física del habitante.

En la tabla 31 se presenta el resultado del procesamiento de la matriz de comparación de pares a una matriz normalizada y el vector priorización de los parámetros de fragilidad social, estimadas mediante la asignación de valores, para

una posterior obtención de la inversa de las sumas totales y multiplicación de los valores de cada parámetro de la misma columna.

Tabla 31

Matriz normalizada y vector priorización de parámetros de fragilidad social

Fragilidad social	Población según ciclo de vida	Población con alguna discapacidad	Densidad poblacional	vector priorización (ponderación)
Población según ciclo de vida	0.652	0.692	0.556	0.633
Población con alguna discapacidad	0.217	0.231	0.333	0.260
Densidad poblacional	0.130	0.077	0.111	0.106
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000

Se observa que el vector priorización con mayor fragilidad social corresponde a la población según el ciclo de vida con un valor de 0.633, seguida de la población con alguna discapacidad con 0.260 y por la densidad poblacional con un valor de 0.106, esto nos refiere que el ciclo de vida de la población toma mayor relevancia sobre la densidad de la población para la estimación de la fragilidad social.

Guaman, (2012). Hace mención que la fragilidad social implica una tendencia hacia el estado de vulnerabilidad asociada con la edad, funcionabilidad corporal y concentración de población en una determinada área geográfica, como se observa en la tabla 31, donde la cualificación está según ciclo de vida que presenta un alto valor del vector priorización.

4.2.3.2. Ponderación de los descriptores de parámetros de fragilidad social

La ponderación de los descriptores de cada parámetro de fragilidad social está en función a las características intrínsecas del habitante que están dentro del área urbana de la ciudad de Puno.

4.2.3.3. Población según ciclo de vida

La tabla 32 se presenta el resultado de la comparación de pares de las poblaciones según el ciclo de vida, ordenados por el grado de susceptibilidad que tienen dentro del área urbana, asignándole un valor numérico según la escala de Saaty para la estimación de una importancia relativa de los descriptores.

- **Matriz normalizada y vector priorización de población según ciclo de vida**

El ciclo de vida es la caracterización de parámetros de edad debido a cambios físicos y mentales según el ritmo de crecimiento y maduración. En la tabla 32 se presenta el resultado del procesamiento de la matriz de comparación de pares a una matriz normalizada y el vector priorización de los descriptores según ciclo de vida, estimadas mediante la asignación de valores, para una posterior obtención de la inversa de las sumas totales y multiplicación de los valores de cada descriptor de la misma columna.

Tabla 32

Matriz normalizada y vector priorización de población según ciclo de vida

Población según ciclo de vida	Primera infancia (0 - 5 años) - adultos/as mayores (60 y más años)	Niñez (6 - 11 años) - adultos/as (45 - 59 años)	Adolescencia (12 - 17 años)	Jóvenes (18 - 29 años)	Adultos/as jóvenes (30 - 44 años)	Vector priorización (ponderación)
Primera infancia (0 - 5 años) - adultos/as mayores (60 y más años)	0.46	0.50	0.45	0.43	0.35	0.438
Niñez (6 - 11 años) - adultos/as (45 - 59 años)	0.23	0.25	0.30	0.26	0.25	0.257
Adolescencia (12 - 17 años)	0.15	0.12	0.15	0.17	0.25	0.170
Jóvenes (18 - 29 años)	0.09	0.08	0.07	0.09	0.10	0.087
Adultos/as jóvenes (30 - 44 años)	0.07	0.05	0.03	0.04	0.05	0.048
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

En la tabla 32 se puede observar que la población en primera infancia de 0 a 5 años, conjuntamente con adultos mayores de 60 años a más tienen un vector priorización de 0.438 el cual es predominante sobre la población con otros ciclos de vida, seguida de la población en niñez de 6 a 11 años y adultos de 45 a 49 años con un vector priorización de 0.257, sin embargo la población adulta joven de 30 a 44 años tiene un vector priorización de 0.048, siendo este el vector priorización con menor valor, esto nos quiere decir que la población con ciclo de vida que presenta mayor valor del vector priorización, tiene mayor fragilidad social, en contraposición de los ciclos de vida que presentan menores valores.

- **Descriptor representativo de la población según ciclo de vida**

En la tabla 33 se presenta la estimación del valor representativo de la población según ciclo de vida en función del peso del descriptor y la cantidad de habitantes.

Tabla 33

Descriptor representativo de población según ciclo de vida

Descriptor	Peso del descriptor	f(habs.)	(%)	participación	Valor representativo
Niños de (6 - 11 años) y Adultos de (45 - 59 años)	0.257	32642	25.12%	8402.509	0.257
Adultos jóvenes de (30 - 44 años)	0.048	30435	23.43%	1452.123	
Jóvenes de (18 - 29 años)	0.087	29472	22.68%	2570.735	
Primera infancia (0 - 5 años) y Adultos mayores (60 y más años)	0.438	24404	18.78%	10678.850	
Adolescentes de (12 - 17 años)	0.170	12969	9.98%	2205.525	
Total	1	129922	100.00%	0.195	

En la tabla 33 se observa la obtención del valor representativo 0.257 en función del peso del descriptor y el ciclo de vida de la población, lo cual nos indica que el ciclo de vida de niños de 6 a 11 años y adultos de 45 años a 59 años, puesto que son la población representativa del área urbana de la ciudad de Puno.

De la misma manera se observa la predominancia de población de niños de 6 a 11 años y adultos de 45 a 59 años en 25.12% de la población, seguida de adultos jóvenes de 30 años a 44 años en 23.43% y en contraposición encontramos a la población adolescente en un 9.98% de la población urbana de la ciudad de Puno.

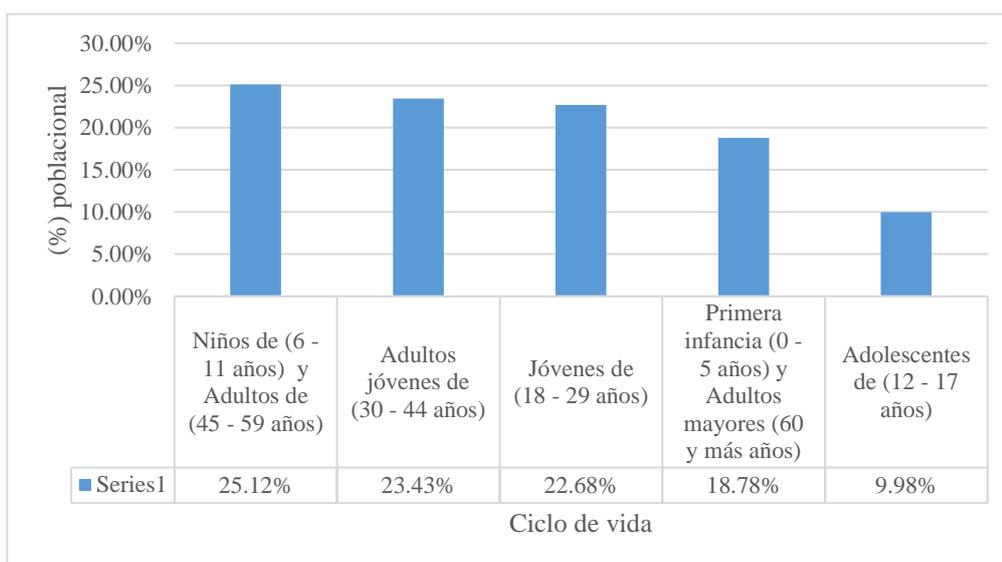


Figura 18. Población según ciclo de vida

Fuente: (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017)

4.2.3.4. Población con alguna discapacidad

La tabla 34 se muestra el resultado de la comparación de pares de las poblaciones con alguna discapacidad, ordenados por el grado de susceptibilidad que tienen dentro del área urbana, asignándole un valor numérico según la escala de Saaty para la estimación de una importancia relativa de los descriptores.

- **Matriz normalizada y vector priorización de la población con alguna discapacidad**

La población con alguna discapacidad, refiere a personas con deficiencias físicas, mentales y/o sensoriales a largo plazo o de forma permanente. La matriz normalizada y el vector priorización es el resultado del procesamiento de la matriz de comparación de pares de la población con alguna discapacidad, estimadas mediante la asignación de valores, para una posterior obtención de la inversa de las sumas totales y multiplicación de los valores de cada descriptor de la misma columna.

Tabla 34
Matriz normalizada y vector priorización de población con alguna discapacidad

Población con alguna discapacidad	Para Ver, Oír y Moverse o caminar	Para Ver y Moverse o caminar	Para Ver y Oír	Solo para Moverse o caminar	Solo para Oír	Solo para Ver	Solo para Entender o aprender	Solo para Relacionarse con los demás	Solo para hablar o comunicarse	otros	No tiene ninguna discapacidad	vector priorización
Para Ver, Oír y Moverse o caminar	0.24	0.35	0.27	0.22	0.23	0.24	0.20	0.16	0.16	0.12	0.11	0.209
Para Ver y Moverse o caminar	0.12	0.17	0.27	0.22	0.23	0.18	0.20	0.16	0.13	0.12	0.11	0.173
Para Ver y Oír	0.12	0.09	0.13	0.22	0.15	0.18	0.15	0.16	0.13	0.12	0.11	0.142
Solo para Moverse o caminar	0.12	0.09	0.07	0.11	0.15	0.12	0.15	0.12	0.13	0.12	0.11	0.117
Solo para Oír	0.08	0.06	0.07	0.05	0.08	0.12	0.10	0.12	0.13	0.12	0.11	0.094
Solo para Ver	0.06	0.06	0.04	0.05	0.04	0.06	0.10	0.12	0.13	0.12	0.11	0.081
Solo para Entender o aprender	0.06	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.05	0.08	0.09	0.12	0.10	0.063
Solo para Relacionarse con los demás	0.06	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03	0.02	0.04	0.06	0.07	0.08	0.045
Solo para hablar o comunicarse	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.05	0.08	0.035
otros	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.08	0.027
No tiene ninguna discapacidad	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.02	0.014
Suma	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

En la tabla 34 se observa un vector prioridad con un valor de 0.209, lo que nos indica mayor incidencia de la población con discapacidad en la visión, audición y extremidades inferiores, seguida de la población con discapacidad para ver y moverse con un vector prioridad 0.173, así mismo encontramos a la población que no tiene ninguna discapacidad con un vector prioridad del 0.014, siendo estas poblaciones tienen menor fragilidad a comparación de la población con vector priorización elevados.

- **Descriptor representativo**

En la tabla 35 se presenta la estimación del valor representativo de la población con alguna discapacidad en función del peso del descriptor y el número de habitantes.

Tabla 35
Descriptor representativo de la población con alguna discapacidad

Descriptor (población con alguna discapacidad)	Peso del descriptor	f(habs.)	(%)	participación	Valor representativo
Para ver, oír y moverse o caminar	0.209	313	0.24%	65.269	0.027
Para ver y moverse o caminar	0.173	496	0.38%	85.969	
Para ver y oír	0.142	712	0.55%	100.957	
Solo para moverse o caminar	0.117	2243	1.73%	261.885	
Solo para oír	0.094	1181	0.91%	111.028	
Solo para ver	0.081	7088	5.46%	574.886	
Solo para entender o aprender	0.063	508	0.39%	31.988	
Solo para relacionarse con los demás	0.045	364	0.28%	16.482	
Solo para hablar o comunicarse	0.035	251	0.19%	8.703	
Otros	0.027	1271	0.98%	34.717	
No tiene ninguna discapacidad	0.014	115495	88.90%	1644.802	
Total	1	129922	100%	0.0226	

En la tabla 35 se observa la obtención del valor representativo 0.027 en función del peso del descriptor y el ciclo de la población con alguna discapacidad, lo que nos indica que la población con discapacidad de otros tipos de combinaciones discapacidad son la población representativa del área urbana de la ciudad de Puno.

También se observa una población predominante que no tiene ninguna discapacidad presente en 88.90% de la población, seguida de población que solamente puede ver en 5.46% y una mínima frecuencia de población que tiene discapacidad visual, auditiva y de movimiento de forma conjunta en 0.24%.

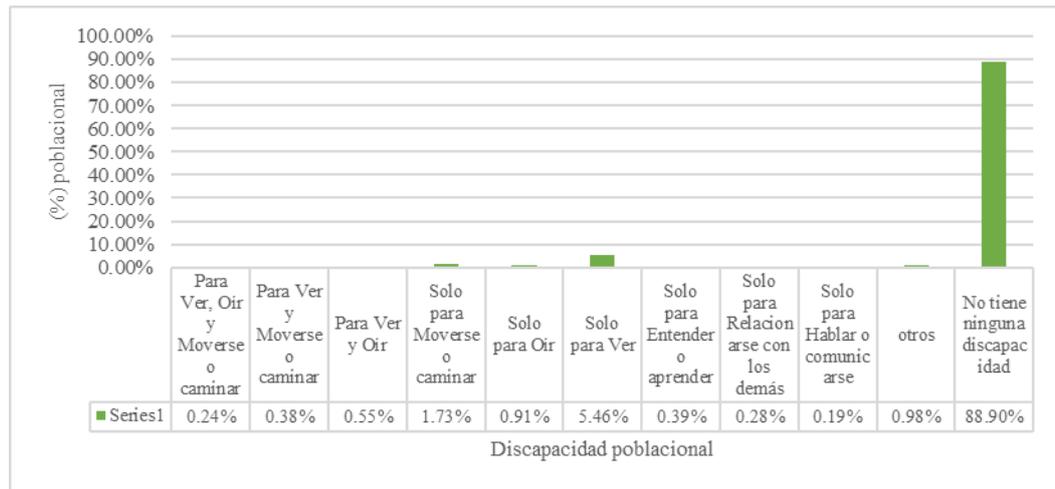


Figura 19. Población con alguna discapacidad
Fuente: (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017)

4.2.3.5. Densidad poblacional

La densidad poblacional es la cantidad relativa de habitantes en una unidad de área superficial. La tabla 36 muestra el resultado de la comparación de pares de las poblaciones según su densidad, ordenados por el grado de susceptibilidad que tienen dentro del área urbana, asignándole un valor numérico según la escala de Saaty para la estimación de una importancia relativa de los descriptores.

- **Matriz normalizada y vector priorización de la densidad poblacional**

La densidad poblacional está concentrada en unidades demográficas, las cuales refieren parámetros de número de habitantes donde se infiere que mientras mayor sea la densidad poblacional, mayor es la vulnerabilidad a nivel de grupo social. El resultado del procesamiento de la matriz de comparación de pares a una matriz normalizada y el vector priorización de los descriptores de densidad poblacional mediante la asignación de valores para una posterior obtención de la inversa de las sumas totales y multiplicación de los valores de cada descriptor de la misma columna.

Tabla 36
Matriz normalizada y vector priorización de la densidad poblacional

Densidad poblacional	De 150 a más hab./ha	De 100 a 150 hab./ha	De 50 a 100 hab./ha	De 0 a 50 hab./ha	Vector priorización (ponderación)
De 150 a más hab./ha	0.60	0.66	0.54	0.44	0.558
De 100 a 150 hab./ha	0.20	0.22	0.32	0.31	0.263
De 50 a 100 hab./ha	0.12	0.07	0.11	0.19	0.122
De 0 a 50 hab./ha	0.09	0.04	0.04	0.06	0.057

Suma	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
------	------	------	------	------	------

En la tabla 36 se puede observar un vector priorización predominante de 0.558 correspondiente a una densidad población del 150 hab./ha a más y en contraposición se encuentra la densidad poblacional de 0 a 50 hab./ha, en referente a lo mencionado se infiere que mientras mayor sea el valor numérico de la densidad poblacional será mayor la fragilidad social

- **Descriptor representativo**

En la tabla 37 se presenta la estimación del valor representativo de la densidad poblacional en función del peso del descriptor y el valor cuantitativo.

Tabla 37

Descriptor representativo de la densidad poblacional

Descriptor	Peso del descriptor	Valor Cualitativo	participación	Valor representativo
de 150 a más hab./ha	0.558	4	2.232	0.558
de 100 a 150 hab./ha	0.263	3	0.790	
de 50 a 100 hab./ha	0.122	2	0.244	
de 0 a 50 hab./ha	0.057	1	0.057	
Total	1.00	10.00	0.332	

En la tabla 37 se observa la obtención del valor representativo 0.558 en función del peso del descriptor y la asignación de un valor cualitativo lo que nos indica que la zona de densidad de 150 hab./ha, es representativa de la densidad poblacional del área urbana de la ciudad de Puno.

4.2.3.6. Componente de fragilidad económica

La fragilidad económica del área urbana de la ciudad de Puno se caracteriza por el tipo material de construcción predominante en las paredes, pisos, techos y la tenencia de las viviendas como se refiere en la figura 20.

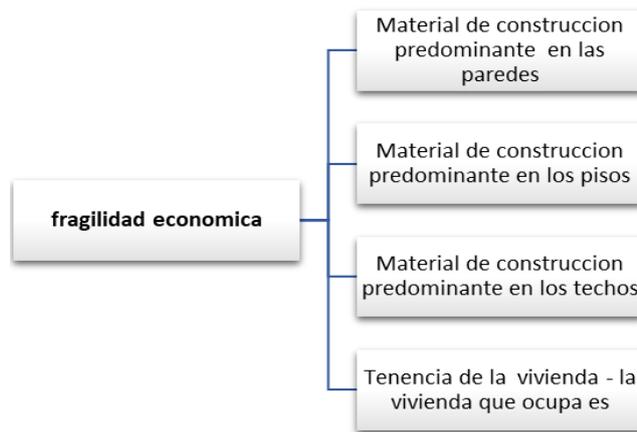


Figura 20. Componentes de fragilidad económica en el área urbana de la ciudad de Puno

• **Matriz normalizada y vector priorización de la fragilidad económica**

La fragilidad económica se refiere a las condiciones de habitabilidad de la población, considerando el material de la vivienda y su tenencia actual.

En la tabla 38 se presenta el resultado del procesamiento de la matriz de comparación de pares a una matriz normalizada y el vector priorización de los parámetros de fragilidad económica, estimadas mediante la asignación de valores, para una posterior obtención de la inversa de las sumas totales y multiplicación de los valores de cada parámetro de la misma columna.

Tabla 38
Matriz normalizada y vector priorización de la fragilidad económica

Fragilidad económica	Material de construcción predominante en las paredes	Material de construcción predominante en los techos	Material de construcción predominante en los pisos	Tenencia de la vivienda	Vector priorización (ponderación)
Material de construcción predominante en las paredes	0.597	0.662	0.526	0.467	0.563
Material de construcción predominante en los techos	0.199	0.221	0.316	0.333	0.267
Material de construcción predominante en los pisos	0.119	0.074	0.105	0.133	0.108
Tenencia de la vivienda	0.085	0.044	0.053	0.067	0.062
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Asimismo, en la tabla 38 se observa una fragilidad económica incidente en los materiales de construcción predominante en paredes con un vector priorización de 0.563, seguida de materiales de construcción predominante en los techos con un vector priorización de 0.267 de la misma forma se observa que el tipo de tenencia

de la vivienda no influye de forma sustancial en la fragilidad económica, debido a una presencia del vector priorización.

Rossi *et al.* (2019), la fragilidad económica está caracterizada por la exposición de bienes y sus características propias, en efecto en la tabla 38 se observa a los materiales de construcción de vivienda del área urbanas, siendo los materiales de construcción de las paredes el parámetro con mayor valor del vector prioridad.

4.2.3.7. Ponderación de los descriptores de parámetros de la fragilidad económica

La ponderación de los descriptores de cada parámetro de fragilidad económica está en función a las características físicas de las viviendas del área urbana de la ciudad de Puno.

4.2.3.8. Material de construcción predominante en las paredes predominante en paredes

La tabla 39 se muestra el resultado de la comparación de pares del material de construcción predominante en las paredes, ordenados por el grado de susceptibilidad que tienen dentro del área urbana, asignándole un valor numérico según la escala de Saaty para la estimación de una importancia relativa de los descriptores.

- **Matriz normalizada y vector priorización de materiales de construcción**

Los materiales de construcción predominante en paredes, se categorizan de acuerdo a sus propiedades físicas del material que lo constituye, las cuales ofrecen una determinada resistencia en caso de eventos extraordinario. En la tabla 39 se aprecia el resultado del procesamiento de la matriz de comparación de pares a una matriz normalizada y el vector priorización de los descriptores del material predominante en paredes, estimadas mediante la asignación de valores, para una posterior obtención de la inversa de las sumas totales y multiplicación de los valores de cada descriptor de la misma columna.

Tabla 39
Matriz normalizada y vector priorización de materiales de construcción predominante en paredes

Material de construcción predominante en las paredes	Ladrillo o bloque de cemento	Piedra o sillar con cal o cemento	Adobe	Tapia	Quincha (caña con barro)	Piedra con barro	Madera (pona, tornillo etc.)	Triplay / calamina / estera	Otro material	Vector Priorización (Ponderación)
Ladrillo o bloque de cemento	0.27	0.38	0.28	0.23	0.24	0.23	0.19	0.18	0.15	0.240
Piedra o sillar con cal o cemento	0.13	0.19	0.28	0.23	0.24	0.23	0.19	0.18	0.15	0.204
Adobe	0.13	0.10	0.14	0.23	0.16	0.17	0.19	0.15	0.15	0.158
Tapia	0.13	0.10	0.07	0.11	0.16	0.12	0.14	0.15	0.15	0.126
Quincha (caña con barro)	0.09	0.06	0.07	0.06	0.08	0.12	0.10	0.15	0.12	0.093
Piedra con barro	0.07	0.05	0.05	0.06	0.04	0.06	0.10	0.07	0.09	0.064
Madera (pona, tornillo etc.)	0.07	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03	0.05	0.07	0.09	0.052
Triplay, calamina y estera	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02	0.03	0.02	0.04	0.06	0.036
Otro material	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.027
Suma	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

En la tabla 39 se observa que el ladrillo o bloque de cemento presenta un vector prioridad de 0.240 el cual es predominante sobre otros materiales de construcción con un vector prioridad de 0.027, de la misma manera sobre ladrillos o bloque de cemento con un vector prioridad de 0.036, en tal sentido se observa un nivel de mayor fragilidad económica en materiales con vector priorización elevado.

- **Descriptor representativo**

En la tabla 40 se presenta la estimación del valor representativo de los materiales de construcción predominantes en paredes en función del peso del descriptor y la cantidad de casos.

Tabla 40
Descriptor representativo de materiales de construcción predominante en paredes

Descriptor	Peso del descriptor	Casos	(%) participación	Valor representativo
Ladrillo o bloque de cemento	0.240	27988	81.32%	6711.490
Piedra o sillar con cal o cemento	0.204	97	0.28%	19.758
Adobe	0.158	6074	17.65%	959.288
Tapia	0.126	7	0.02%	0.879
Quincha (caña con barro)	0.093	10	0.03%	0.932
Piedra con barro	0.064	81	0.24%	5.187
Madera (pona, tornillo etc.)	0.052	34	0.10%	1.771
Triplay / calamina / estera	0.036	124	0.36%	4.486
Otro material	0.027	2	0.01%	0.055
Total	1.00	34417	0.047	

En la tabla 40 se observa la obtención del valor representativo 0.052 en función del peso del descriptor de los materiales de construcción predominante en paredes, lo que nos indica que el descriptor representativo del área urbana de la ciudad de Puno en materiales predominantes en paredes es la madera.

De la misma manera se observa que existe un 81.31% de incidencia de paredes con materiales predominantes de ladrillo o bloque de cemento, en contraposición con otros materiales con el 0.01% y paredes de triplay, calamina o esteras con una incidencia del 0.36%.

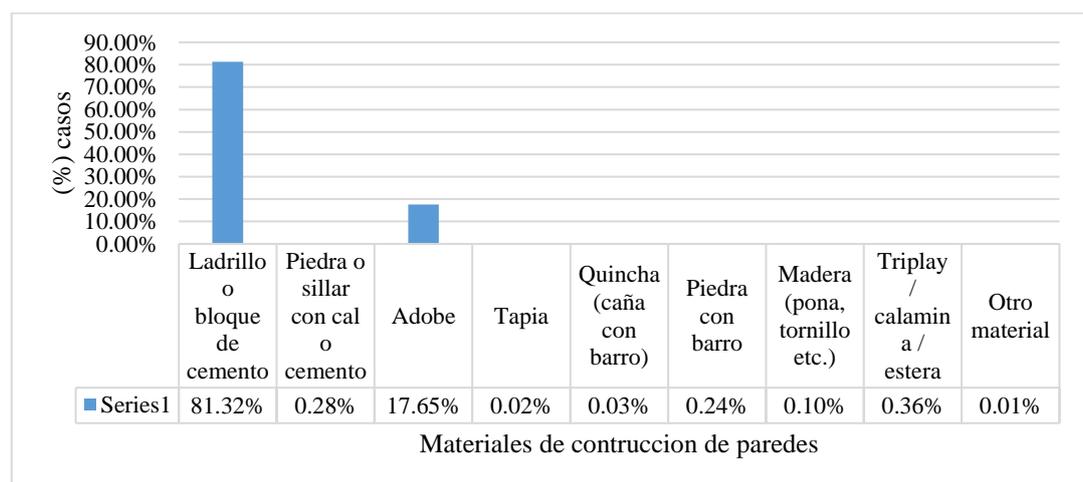


Figura 21. Material de construcción predominante en las paredes
Fuente: (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017)

4.2.3.9. Material de construcción predominante en los techos

La tabla 41 muestra el resultado de la comparación de pares del material de construcción predominante en los techos, ordenados por el grado de susceptibilidad que tienen dentro del área urbana, asignándole un valor numérico según la escala de Saaty para la estimación de una importancia relativa de los descriptores.

- **Matriz normalizada y vector priorización de material de construcción predominante en los techos**

Los materiales de construcción predominante en los techos, están caracterizados por propiedades propias de cada material, según su origen y capacidad de resistencia que cubren las viviendas puestas de forma horizontal y perpendicular sobre las paredes.

En la tabla 41 se presenta el resultado del procesamiento de la matriz de comparación de pares a una matriz normalizada y el vector priorización de los descriptores del material predominante en los techos, estimadas mediante la asignación de valores, para una posterior obtención de la inversa de las sumas totales y multiplicación de los valores de cada descriptor de la misma columna.

Tabla 41
Matriz normalizada y vector priorización de material de construcción predominante en los techos

Material de construcción predominante en los techos	Concreto armado	Planchas de calamina, fibra de	Tejas	Caña o estera con torta de barro o	Madera	Triplay, estera o carrizo	Paja, hoja de palmera y ..	Otro material	Vector Priorización
Concreto armado	0.28	0.39	0.31	0.24	0.23	0.18	0.20	0.21	0.256
Planchas de calamina, fibra de cemento o similares	0.14	0.20	0.31	0.24	0.23	0.18	0.20	0.15	0.206
Tejas	0.14	0.10	0.16	0.24	0.23	0.24	0.20	0.18	0.185
Caña o estera con torta de barro o cemento	0.14	0.10	0.08	0.12	0.15	0.18	0.16	0.15	0.135
Madera	0.09	0.07	0.05	0.06	0.08	0.12	0.12	0.12	0.088
Triplay, estera o carrizo	0.09	0.07	0.04	0.04	0.04	0.06	0.08	0.09	0.063
Paja, hoja de palmera y similares	0.06	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.06	0.039
Otro material	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.027
Suma	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

En la tabla 41 se observa que los techos de concreto armado presenta un vector prioridad de 0.256 el cual es predominante sobre otros materiales de construcción con un vector prioridad de 0.027 de la misma manera sobre planchas de calamina, fibra de cemento o similares con un vector prioridad de 0.0206, en tal sentido se observa un nivel de mayor fragilidad económica en materiales de construcción de techos con un vector priorización elevado.

- **Descriptor representativo de materiales de construcción predominante en los techos**

En la tabla 42 se presenta la estimación del valor representativo de los materiales de construcción predominantes en paredes en función del peso del descriptor y la cantidad de casos.

Tabla 42
Descriptor representativo de materiales de construcción predominante en los techos

Descriptor	Peso del descriptor	Casos	(%) Participación	Valor representativo
Paja, hoja de palmera y similares	0.256	21	5.373	0.063
Triplay / estera / carrizo	0.206	35	7.203	
Caña o estera con torta de barro o cemento	0.185	225	41.694	
Madera	0.135	118	15.913	
Tejas	0.088	268	23.682	
Planchas de calamina, fibra de cemento o similares	0.063	9 589	607.383	
Concreto armado	0.039	24 159	944.172	
Otro material	0.027	2	0.055	
Total	1.00	34417.00	0.048	

Asimismo, en la tabla 42 se observa la obtención del valor representativo 0.062 en función del peso del descriptor de los materiales de construcción predominante en techos, lo que nos indica que el descriptor representativo del área urbana de la ciudad de Puno en materiales predominantes en techos son las planchas de calamina, fibras de cemento o similares.

De la misma manera se observa que existe un 81.31% de incidencia de paredes con materiales predominantes de ladrillo o bloque de cemento, en contraposición con otros materiales con el 0.01% y paredes de triplay, calamina o esteras con una incidencia del 0.36%.

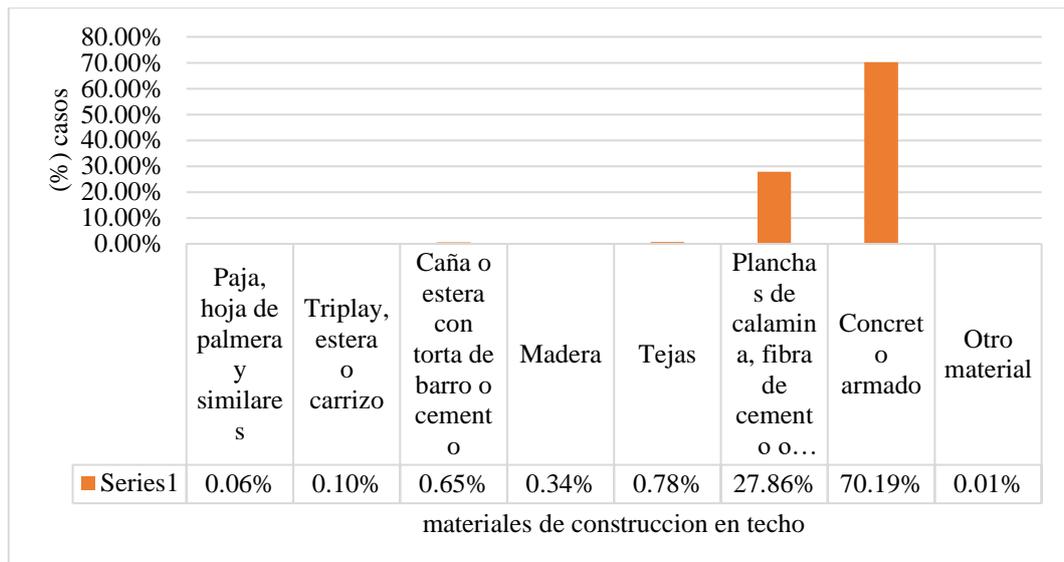


Figura 22. Material de construcción predominante en los techos
Fuente: (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017)

4.2.3.10. Material de construcción predominante en los pisos

La tabla 43 muestra el resultado de la comparación de pares del material de construcción predominante en los pisos, ordenados por el grado de susceptibilidad que tienen dentro del área urbana, asignándole un valor numérico según la escala de Saaty para la estimación de una importancia relativa de los descriptores.

- **Matriz normalizada y vector priorización de material de construcción predominante en los pisos**

Los materiales de construcción predominante en los pisos, están caracterizados por las propiedades de cada material, según su origen y capacidad de resistencia al tránsito de personas y unidades. En la tabla 43 se presenta el resultado del procesamiento de la matriz de comparación de pares a una matriz normalizada y el vector priorización de los descriptores del material predominante en los pisos, estimadas mediante la asignación de valores, para una posterior obtención de la inversa de las sumas totales y multiplicación de los valores de cada descriptor de la misma columna.

Tabla 43
Matriz normalizada y vector priorización de material de construcción predominante en los pisos

Material de construcción predominante en los pisos	Tierra	Láminas asfálticas, vinílicos o similares	Madera (pona, tornillo, etc.)	Parquet o madera pulida	Losetas, terrazos, cerámicos o similares	Cemento	Vector priorización (Ponderación)
Tierra	0.26	0.23	0.38	0.26	0.21	0.20	0.255
Láminas asfálticas, vinílicos o similares	0.26	0.23	0.19	0.26	0.21	0.20	0.224
Madera (pona, tornillo, etc.)	0.13	0.23	0.19	0.26	0.21	0.20	0.202
Parquet o madera pulida	0.13	0.12	0.09	0.13	0.21	0.20	0.146
Losetas, terrazos, cerámicos o similares	0.13	0.12	0.09	0.06	0.11	0.13	0.107
Cemento	0.09	0.08	0.06	0.04	0.05	0.07	0.065
Suma	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

En la tabla 43 se observa que el piso de tierra presenta un vector prioridad de 0.255 el cual es predominante sobre pisos de láminas asfálticas con un vector prioridad de 0.224 y así sucesivamente, lo que nos indica que presenta mayor fragilidad económica sobre los demás tipos de material de construcción en pisos.

- **Descriptor representativo del material de construcción predominante en los pisos**

En la tabla 44 se presenta la estimación del valor representativo de los materiales de construcción predominantes en los pisos en función del peso del descriptor y la cantidad de casos.

Tabla 44
Descriptor representativo de material de construcción predominante en los pisos

Descriptor	Peso del descriptor	Casos	%	Participación	Valor representativo
Tierra	0.255	4 936	14.34%	1260.72372	0.146
Láminas asfálticas, vinílicos o similares	0.224	1 119	3.25%	250.839565	
Madera (pona, tornillo, etc.)	0.202	1 276	3.71%	258.294189	
Parquet o madera pulida	0.146	3 049	8.86%	446.045979	
Losetas, terrazos, cerámicos o similares	0.107	3 295	9.57%	352.562626	
Cemento	0.065	20 742	60.27%	1342.11469	
Total	1.00	34417.00		0.11362352	

En la tabla 44 se observa la obtención del valor representativo 0.146 en función del peso del descriptor de los materiales de construcción predominante en pisos, lo que nos indica que el descriptor representativo del área urbana de la ciudad de Puno en materiales predominantes en pisos es el parquet o madera pulida.

De la misma manera se observa que existe un 60.27% de incidencia de pisos de cemento, en contraposición con otros materiales con el 3.25% laminas asfálticas, vinílicos o similares.

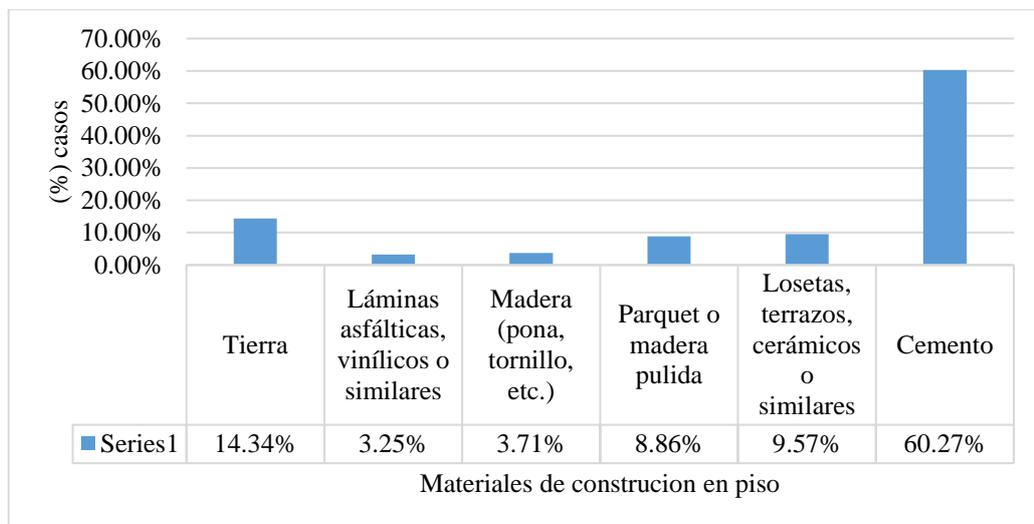


Figura 23. Material de construcción predominante en los pisos
Fuente: (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017)

4.2.3.11. Tenencia de la vivienda

La tabla 45 se muestra el resultado de la comparación de pares del tipo de tenencia de la vivienda, ordenados por el grado de susceptibilidad que tienen dentro del área urbana, asignándole un valor numérico según la escala de Saaty para la estimación de la importancia relativa de los descriptores.

- **Matriz normalizada y vector priorización de tenencia de la vivienda**

La tenencia de vivienda refiere a la interrelación de la población habitante con la propiedad inmobiliaria, en referente al tipo de posesión que vincula una a la otra. En la tabla 45 se presenta el resultado del procesamiento de la matriz de comparación de pares a una matriz normalizada y el vector priorización de los descriptores del tipo de tenencia de la vivienda, estimadas mediante la asignación de valores, para una posterior obtención de la inversa de las sumas totales y multiplicación de los valores de cada descriptor de la misma columna.

Tabla 45
Matriz normalizada y vector priorización de tenencia de la vivienda

Tenencia de la vivienda	Alquilada	Propia sin título de propiedad	Propia con título de propiedad	Cedida	Otra forma	Vector priorización
Alquilada	0.35	0.46	0.34	0.27	0.23	0.332
Propia sin título de propiedad	0.18	0.23	0.34	0.27	0.23	0.251
Propia con título de propiedad	0.18	0.12	0.17	0.27	0.23	0.193
Cedida	0.18	0.12	0.09	0.14	0.23	0.149
Otra forma	0.12	0.08	0.06	0.05	0.08	0.075
Suma	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

En la tabla 45 se observa que la tenencia con mayor fragilidad económica son las viviendas alquiladas con un vector prioridad de 0.332, seguidamente de viviendas propias sin título de propiedad con un vector prioridad de 0.251, en tal sentido se observa mientras la propiedad sea de terceros o de tenencia no legalizada, la fragilidad económica es mayor.

- **Descriptor representativo de tenencia de la vivienda**

En la tabla 46 se presenta la estimación del valor representativo de los tipos tenencia de la vivienda en el área urbana de la ciudad de Puno, en función del peso del descriptor y la cantidad de casos.

Tabla 46
Descriptor representativo de tenencia de la vivienda

Descriptor	Peso del descriptor	Casos	%	participación	Valor representativo
Alquilada	0.332	6280	18.25%	2086.01	0.251
Propia sin título de propiedad	0.251	5304	15.41%	1329.81	
Propia con título de propiedad	0.193	19724	57.31%	3813.75	
Cedida	0.149	3022	8.78%	450.1	
Otra forma	0.075	87	0.25%	6.51	
Total	1	34417	100%	0.22332512	

Asimismo, en la tabla 46 se observa la obtención del valor representativo 0.251 en función del peso del descriptor y el tipo de tenencia de la vivienda, lo que nos indica que el descriptor representativo del tipo de tenencia de vivienda del área urbana de la ciudad de Puno es propio sin título de propiedad.

De la misma manera se observa predominancia de viviendas propias con título de propiedad en 57.31%, seguida de viviendas alquiladas con 18.75%, así mismo se encuentran otros tipos de tenencia no referidas las cuales se presentan en mínimo porcentaje de 0.25% de los casos.

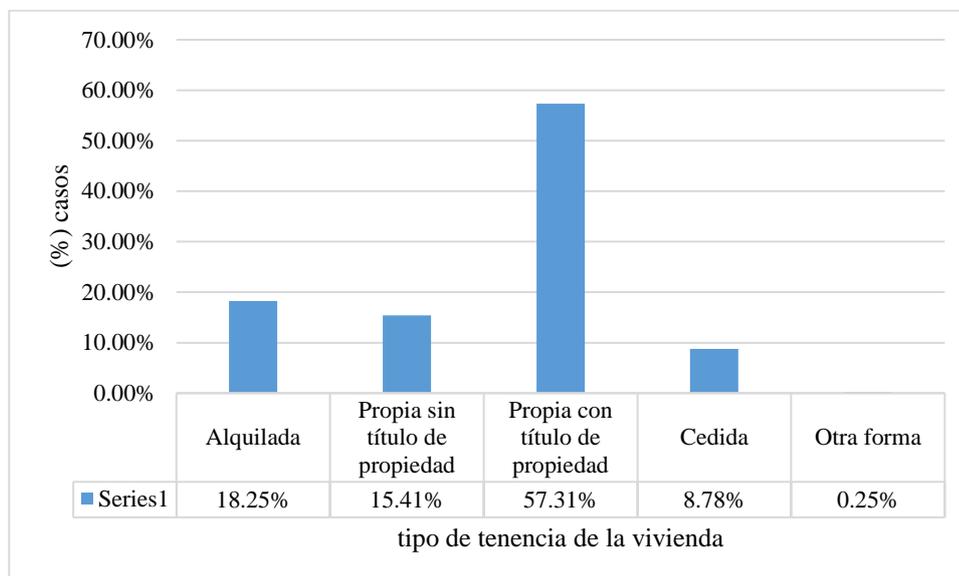


Figura 24. Tenencia de la vivienda

Fuente: (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017)

4.2.3.12. Parámetros de resiliencia presentes en el área urbana de la ciudad de Puno

La resiliencia es el proceso de adaptación y superación de eventos críticos que afectan de manera física o mental a la población, la categorización de resiliencia del área urbana de la ciudad de Puno está en función a características poblacionales y de infraestructura que ayudan a una recuperación optima post desastre los cuales son respaldadas por datos censales.

4.2.4. Componentes de resiliencia social

La resiliencia social es el proceso de afrontar sucesos y eventos que afectan a la población, mediante condiciones implícitas adquiridas de manera individual o colectiva.

La resiliencia social del área urbana de la ciudad de Puno ante precipitaciones pluviales está determinada por una población afiliada a seguros de salud, asimismo el ultimo nivel de estudio que aprobó, como se refiere en la figura 25.

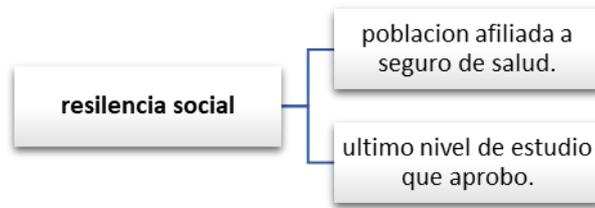


Figura 25. Resiliencia del área urbana de la ciudad de Puno

La tabla 47 presenta los pesos ponderados de la resiliencia social, considerando que ambos parámetros tienen la misma importancia para poder afrontar de manera óptima los desastres naturales.

Tabla 47

Peso ponderado de resiliencia social

Resiliencia social	Peso ponderado
Población afiliada a seguros de salud	0.50
Ultimo nivel de estudio que aprobó	0.50

En la tabla 47 se observa una población afiliada a algún seguro con un peso ponderado de 0.50 y una población de acuerdo al último nivel de estudio que aprobó con un peso ponderado de 0.50, entendiéndose que ambos factores influyen de la misma manera en su estimación de la resiliencia social.

Guaman, (2012) presenta a la resiliencia como la actitud de encarar sucesos de forma individual y colectiva, caracterizado por las posibilidades de acceso a servicios de salud y educación como se observa en la tabla 47, representado por una población afiliada a algún seguro de salud y el nivel educativo que cuenta, siendo ambas de gran relevancia para una resiliencia social óptima.

4.2.4.1. Población afiliada a seguros de salud

La población asegurada refiere a aquellos habitantes que mínimamente cuenten con cobertura de los servicios de emergencia, las cuales pueden ser dados en entidades gubernamentales o privadas. La tabla 48 muestra el resultado de la comparación de pares de la población afiliada a algún seguro de salud, ordenados por el grado de resiliencia que tienen dentro del área urbana, asignándole un valor numérico según la escala de Saaty para la estimación de una importancia relativa de los descriptores.

- **Matriz normalizada y vector priorización de población afiliada a seguro de salud**

En la tabla 48 se presenta el resultado del procesamiento de la matriz de comparación de pares a una matriz normalizada y el vector priorización de la población afiliada a seguros de salud, estimadas mediante la asignación de valores, para una posterior obtención de la inversa de las sumas totales y la multiplicación de los valores de cada descriptor de la misma columna.

Tabla 48
Matriz normalizada y vector priorización de población afiliada a seguro de salud

Población afiliada a seguros de salud	Solo seguro integral de salud (sis)	Solo ESSALUD	Solo seguro de fuerzas armadas o policiales	Solo seguro privado de salud	Solo otro seguro	Otros	No tiene ningún seguro	Vector priorización
Solo seguro integral de salud (SIS)	0.37	0.44	0.41	0.30	0.34	0.26	0.18	0.329
Solo ESSALUD	0.18	0.22	0.27	0.30	0.20	0.26	0.18	0.232
Solo seguro de fuerzas armadas o policiales	0.12	0.11	0.14	0.20	0.20	0.16	0.18	0.159
Solo seguro privado de salud	0.12	0.07	0.07	0.10	0.14	0.16	0.18	0.120
Solo otro seguro	0.07	0.07	0.05	0.05	0.07	0.10	0.13	0.078
Otros	0.07	0.04	0.05	0.03	0.03	0.05	0.13	0.059
No tiene ningún seguro	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.024
Suma	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

En la tabla 48 se aprecia que la población que solamente está afiliada al seguro integral de salud (SIS), y que tiene un vector priorización de 0.329, siendo este el descriptor con mayor capacidad de resiliencia social, debido a la cobertura universal de una población mayoritaria, sin embargo, se encuentra población que no tiene ningún seguro, representado con un valor de priorización de 0.024, siendo este grupo poblacional con menos posibilidad de resiliencia.

- **Descriptor representativo de población afiliada a seguro de salud**

En la tabla 49 se presenta la estimación del valor representativo de la población afiliada a seguros de salud en función del peso del descriptor y la cantidad de casos.

Tabla 49
Descriptor representativo de población afiliada a seguro de salud

Descriptor	Peso del descriptor	Casos (habs.)	% participación	Valor representativo
Solo Seguro Integral de Salud (SIS)	0.329	35613	27.41%	11720.51
Solo ESSALUD	0.232	43587	33.55%	10115.95
Solo Seguro de fuerzas armadas o policiales	0.159	3376	2.60%	535.82
Solo Seguro privado de salud	0.120	985	0.76%	117.83
Solo Otro seguro	0.078	747	0.57%	58.04
Otros	0.059	497	0.38%	29.22
No tiene ningún seguro	0.024	45117	34.73%	1082.36
Total	1	129922	100%	0.18

En cuanto a la tabla 49 se observa la obtención del valor representativo 0.232 en función del peso del descriptor y el tipo de afiliación a seguro de salud, lo que nos indica que el descriptor representativo de la población afiliada a seguro de salud es la población afiliada solamente a ESSALUD.

Así mismo se observa de una población que cuenta con seguro ESSALUD en un 33.55%, seguida de una población que solamente cuenta con seguro integral de salud (SIS) en 27.41% de la población, sin embargo, se encuentra una población mayoritaria que no cuenta con algún tipo de seguro de salud el cual representa el 34.73% de la población, como se observa en la figura 26.

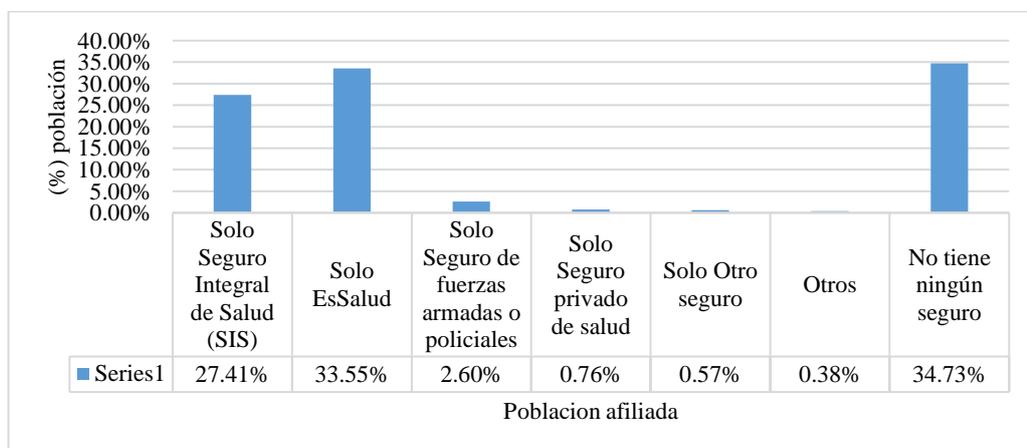


Figura 26. Población afiliada a seguro de salud
Fuente: (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017)

4.2.4.2. Ultimo nivel de estudio que aprobó

El nivel educativo de una persona se estima mediante una agrupación sistemática de programas educativos basadas en enseñanzas y mejora de capacidades intelectuales, sujetas a gradaciones. La tabla 50 es el resultado de la comparación de pares del ultimo nivel de estudio que aprobaron los habitantes del área urbana de la ciudad de Puno, ordenados por el grado de resiliencia que tienen dentro del área urbana, asignándole un valor numérico según la escala de Saaty para la estimación de una importancia relativa de los descriptores.

- **Matriz normalizada y vector priorización de ultimo nivel de estudio que aprobó**

En la tabla 50 se presenta el resultado del procesamiento de la matriz de comparación de pares a una matriz normalizada y el vector priorización de los descriptores del ultimo nivel de estudio que aprobaron los habitantes del área urbana de la ciudad de Puno, estimadas mediante la asignación de valores, para una posterior obtención de la inversa de las sumas totales y multiplicación de los valores de cada descriptor de la misma columna.

Tabla 50
Matriz normalizada y vector priorización de ultimo nivel de estudio que aprobó

Último nivel de estudio que aprobó	Maestría / Doctorado	Superior universitaria completa	Superior universitaria incompleta	Superior no universitaria completa	Superior no universitaria incompleta	Básica especial	Secundaria	Primaria	Inicial	Sin Nivel	Vector Priorización
Maestría y/o Doctorado	0.28	0.38	0.38	0.28	0.22	0.21	0.18	0.17	0.14	0.14	0.239
Superior universitaria completa	0.14	0.19	0.25	0.28	0.22	0.21	0.18	0.17	0.14	0.14	0.193
Superior universitaria incompleta	0.09	0.10	0.13	0.19	0.22	0.21	0.18	0.17	0.14	0.14	0.157
Superior no universitaria completa	0.09	0.06	0.06	0.09	0.15	0.15	0.14	0.17	0.17	0.14	0.123
Superior no universitaria incompleta	0.09	0.06	0.04	0.05	0.07	0.10	0.14	0.10	0.14	0.12	0.092
Básica especial	0.07	0.05	0.03	0.03	0.04	0.05	0.09	0.10	0.08	0.10	0.065
Secundaria	0.07	0.05	0.03	0.03	0.02	0.03	0.05	0.07	0.08	0.08	0.051
Primaria	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.06	0.06	0.035
Inicial	0.06	0.04	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.027
Sin Nivel	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.018
Suma	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Además, en la tabla 50 se observa que la población que cuenta con maestría o doctorado con un vector priorización de 0.239 tiene mayor capacidad de resiliencia social, seguida de la población que tienen superior universitario completa con un vector priorización de 0.193, de forma contraria se observa una población sin nivel educativo alguno con un vector prioridad de 0.018, lo que nos refiere que su capacidad de resiliencia social es muy baja a comparación de los descriptores que lo anteceden.

- **Descriptor representativo del ultimo nivel de estudio que aprobó**

En la tabla 51 se presenta la estimación del valor representativo del ultimo nivel de estudio que aprobaron los habitantes del área urbana de la ciudad de Puno en función del peso del descriptor y la cantidad de casos.

Tabla 51

Descriptor representativo de ultimo nivel de estudio que aprobó

Descriptor	Peso del descriptor	Casos (habs.)	% participación	Valor representativo
Maestría / Doctorado	0.239	5390	4.33%	1287.52
Superior universitaria completa	0.193	26576	21.33%	5125.61
Superior universitaria incompleta	0.157	12235	9.82%	1914.79
Superior no universitaria completa	0.123	10070	8.08%	1241.86
Superior no universitaria incompleta	0.092	4509	3.62%	416.67
Básica especial	0.065	113	0.09%	7.32
Secundaria	0.051	34824	27.94%	1777.51
Primaria	0.035	20212	16.22%	716.59
Inicial	0.027	5752	4.62%	154.54
Sin Nivel	0.018	4941	3.96%	88.39
Total	1.00	124622	100%	0.10

Además, en la tabla 51 se observa la obtención del valor representativo 0.123 en función del peso del descriptor y el ultimo nivel de estudio que aprobó, lo que nos indica que el descriptor representativo es la población con superior no universitaria completa.

En la figura 27 se observa una mayor incidencia de la población con secundaria con 27.94%, seguido de población con superior universitario completo con una incidencia del 21.33% y primaria de la misma forma se observa una baja incidencia de población con nivel educativo básica especial con 0.09%.

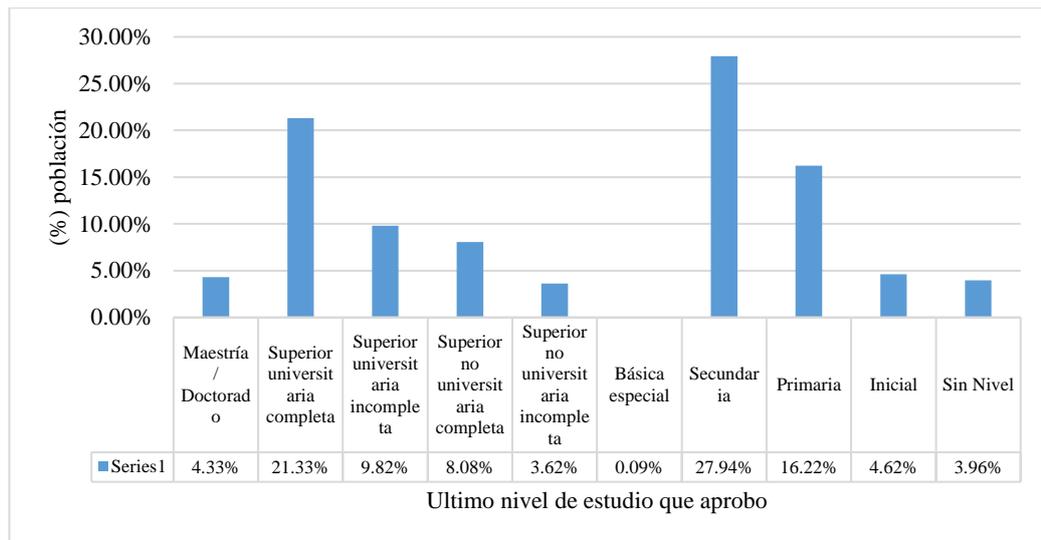


Figura 27. Ultimo nivel de estudio que aprobó
Fuente: (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017)

4.2.4.3. Componentes de resiliencia económica

La resiliencia económica del área urbana de la ciudad de Puno ante precipitaciones pluviales está determinada por el tipo de vivienda, abastecimiento de agua en la vivienda y si la vivienda tiene alumbrado eléctrico por red pública como se refiere en la figura 28.

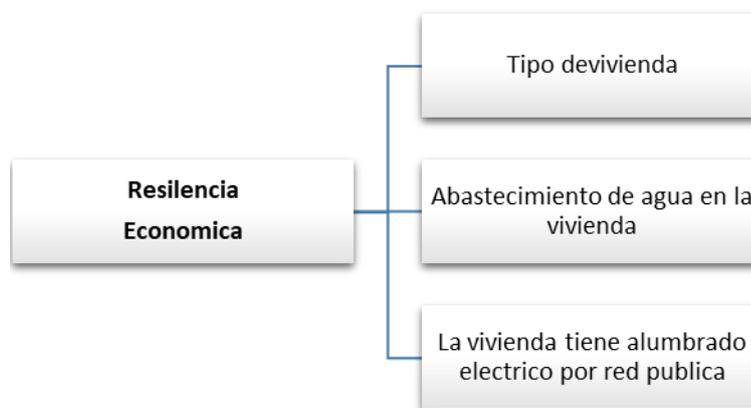


Figura 28. Resiliencia del área urbana de la ciudad de Puno

- **Matriz normalizada y vector priorización de la resiliencia económica**

La resiliencia económica es la capacidad de resistencia y/o adaptación ante eventos extraordinarios, considerando factores ligados a la generación de actividades económicas. En la tabla 52 se presenta el resultado del procesamiento de la matriz de comparación de pares a una matriz normalizada y el vector

priorización de los parámetros de la resiliencia económica, estimadas mediante la asignación de valores, para una posterior obtención de la inversa de las sumas totales y multiplicación de los valores de cada parámetro de la misma columna.

Tabla 52

Matriz normalizada y vector priorización de resiliencia económica

Resiliencia económica	Abastecimiento de agua en la vivienda	La vivienda tiene alumbrado eléctrico por red pública	Tipo de vivienda	Vector priorización
Abastecimiento de agua en la vivienda	0.545	0.571	0.500	0.539
La vivienda tiene alumbrado eléctrico por red pública	0.273	0.286	0.333	0.297
Tipo de vivienda	0.182	0.143	0.167	0.164
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000

En la tabla 52 se observa una población con abastecimiento de agua en la vivienda con un vector priorización de 0.539, lo cual nos indica que una población posterior a un evento extraordinario con un adecuado abastecimiento de agua, tiene mayor resiliencia económica, seguida de viviendas que tengan alumbrado eléctrico por red pública con un vector prioridad de 0.297 y el tipo de vivienda con un vector prioridad de 0.164.

Terzi *et al.* (2019), identifica las capacidades económicas para una adaptación ante un evento extraordinario, como es el acceso a servicios básicos, de la misma manera en la tabla 52 se refiere al abastecimiento de agua y servicios eléctrico como factores predominantes para una óptima resiliencia económica.

4.2.4.4. Ponderación de los descriptores de parámetros de resiliencia económica

La ponderación de los descriptores de cada parámetro de resiliencia económica está en función a los servicios básicos y características físicas de las viviendas que están dentro del área urbana de la ciudad de Puno.

4.2.4.5. Abastecimiento de agua en la vivienda

El abastecimiento de agua potable, se refiere a un sistema de estructuras interconectadas que permiten la distribución de agua potable a grupos poblacionales. La tabla 53 es el resultado de la comparación de pares del tipo de

abastecimiento de agua en vivienda, ordenados por el grado de susceptibilidad que tienen dentro del área urbana, asignándole un valor numérico según la escala de Saaty para la estimación de una importancia relativa de los descriptores.

- **Matriz normalizada y vector priorización de abastecimiento de agua en la vivienda**

En la tabla 53 se presenta el resultado del procesamiento de la matriz de comparación de pares a una matriz normalizada y el vector priorización del tipo de abastecimiento de agua en vivienda, estimadas mediante la asignación de valores, para una posterior obtención de la inversa de las sumas totales y multiplicación de los valores de cada descriptor de la misma columna.

Tabla 53
Matriz normalizada y vector priorización de abastecimiento de agua en la vivienda

Abastecimiento de agua en la vivienda	Red pública dentro de la vivienda	Pozo (agua subterránea)	Red pública fuera de la vivienda, pero dentro de la edificación	Pilón o pileta de uso público	Vecino	Camión - cisterna u otro similar	Otro	Río, acequia, lago, laguna	Manantial o puquio	Vector priorización (ponderación)
Red pública dentro de la vivienda	0.36	0.50	0.40	0.32	0.30	0.25	0.23	0.20	0.18	0.306
Pozo (agua subterránea)	0.12	0.17	0.27	0.24	0.18	0.20	0.15	0.17	0.18	0.187
Red pública fuera de la vivienda, pero dentro de la edificación	0.12	0.08	0.13	0.24	0.18	0.25	0.19	0.17	0.16	0.170
Pilón o pileta de uso público	0.09	0.06	0.04	0.08	0.18	0.10	0.15	0.14	0.13	0.108
Vecino	0.07	0.06	0.04	0.03	0.06	0.10	0.12	0.10	0.11	0.076
Camión - cisterna u otro similar	0.07	0.04	0.03	0.04	0.03	0.05	0.08	0.10	0.08	0.058
Otro	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.04	0.07	0.08	0.042
Río, acequia, lago, laguna	0.06	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.05	0.031
Manantial o puquio	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.022
Suma	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Se observa un abastecimiento por red pública dentro de la vivienda con un vector prioridad de 0.306, lo que nos da a entender que la disposición inmediata de agua potable en la vivienda contribuye a la resiliencia económica de manera óptima, en contraposición encontramos al abastecimiento de agua por manantiales y puquios

con un vector priorización de 0.022, debido a una alta susceptibilidad a contaminación.

Descriptor representativo del abastecimiento de agua en la vivienda

En la tabla 54 se presenta la estimación del valor representativo del tipo de abastecimiento de agua en vivienda, en función del peso del descriptor y la cantidad de casos.

Tabla 54

Descriptor representativo de abastecimiento de agua en la vivienda

Descriptor	Peso del descriptor	Casos	%	participación	Valor representativo
Red pública dentro de la vivienda	0.306	28 939	84.08%	8850.064	0.306
Pozo (agua subterránea)	0.187	2 740	7.96%	512.625	
Red pública fuera de la vivienda, pero dentro de la edificación	0.170	1 485	4.31%	252.129	
Pilón o pileta de uso público	0.108	732	2.13%	79.181	
Vecino	0.076	218	0.63%	16.512	
Camión - cisterna u otro similar	0.058	146	0.42%	8.405	
Otro	0.042	118	0.34%	4.965	
Río, acequia, lago, laguna	0.031	37	0.11%	1.162	
Manantial o puquio	0.022	2	0.01%	0.045	
Total	1.00	34417	100%	0.28	

En la tabla 54 se observa la obtención del valor representativo 0.306 en función del peso del descriptor y el tipo de abastecimiento de agua en vivienda, lo que nos indica que el descriptor representativo es el abastecimiento de agua en vivienda por red pública dentro de la vivienda.

En la figura 29 se observa una mayor incidencia de la población con abastecimiento de agua por red pública dentro de la vivienda con 84.08%, seguido de población con abastecimiento de agua subterránea mediante pozos en 7.96%, una baja incidencia de población de abastecimiento de agua por manantial y puquio.

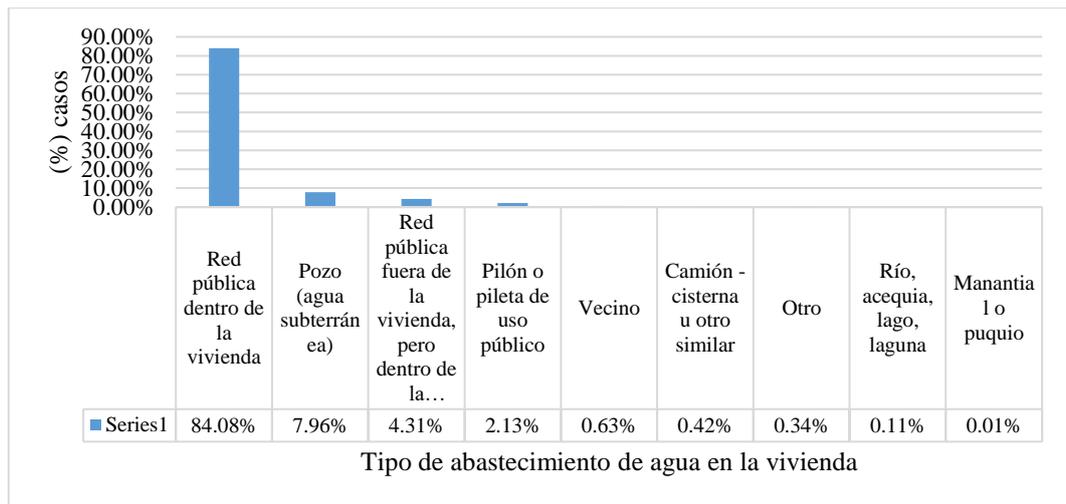


Figura 29. Abastecimientos de agua en la vivienda

Fuente: (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017)

Gaspari *et al.* (2011), dentro de las condiciones de habitabilidad de un centro urbano es necesario la consideración del abastecimiento de agua, siendo así uno de los parámetros de gran relevancia en la resiliencia, como se observa en la figura 29 el área urbana de la ciudad de puno cuenta con un 83.08% de conexiones a red pública dentro de viviendas.

4.2.4.6. La vivienda tiene alumbrado eléctrico por red publica

El alumbrado eléctrico es la obtención de iluminación de manera artificial de áreas urbanas mediante sistemas de red eléctrica, la cual también es usado para el accionamiento de artefactos y electrodomésticos. La tabla 55 se presenta los vectores priorización de las condiciones de alumbrado público, tomando la mayor ponderación la existencia de alumbrado eléctrico para una óptima resiliencia de la población frente a desastres naturales.

Tabla 55

Vector priorización de alumbrado eléctrico por red publica

Alumbrado eléctrico por red pública	Vector priorización
Sí tiene alumbrado eléctrico	0.9
No tiene alumbrado eléctrico	0.1

Se observa una población que si tiene alumbrado eléctrico por red pública con un vector priorización de 0.90, lo que nos indica que tiene una resiliencia económica optima, sin embargo, se observa una población que no tiene alumbrado eléctrico

por red pública con un vector priorización de 0.1, siendo este la que presenta menos condiciones para una resiliencia económica óptima.

- **Descriptor representativo del alumbrado eléctrico por red publica**

En la tabla 56 se presenta la estimación del valor representativo del alumbrado eléctrico por red publica en función del peso del descriptor y la cantidad de casos.

Tabla 56

Descriptor representativo de alumbrado eléctrico por red publica

Descriptor	Peso del descriptor	Casos	% participación	Valor representativo
Sí tiene alumbrado eléctrico	0.9	31756	92.27%	28580.4
No tiene alumbrado eléctrico	0.1	2661	7.73%	266.1
Total	1	34417	100%	0.838

En la tabla 56 se observa la obtención del valor representativo 0.90 en función del peso del descriptor, lo que nos indica que el descriptor representativo es la población que si tiene alumbrado eléctrico.

En la figura 30 se aprecia una mayor incidencia de la población que si dispone de alumbrado eléctrico por red pública en 92.27% de la población del área urbana de la ciudad de puno y una población que no tiene alumbrado electro con un 7.73% de la población.

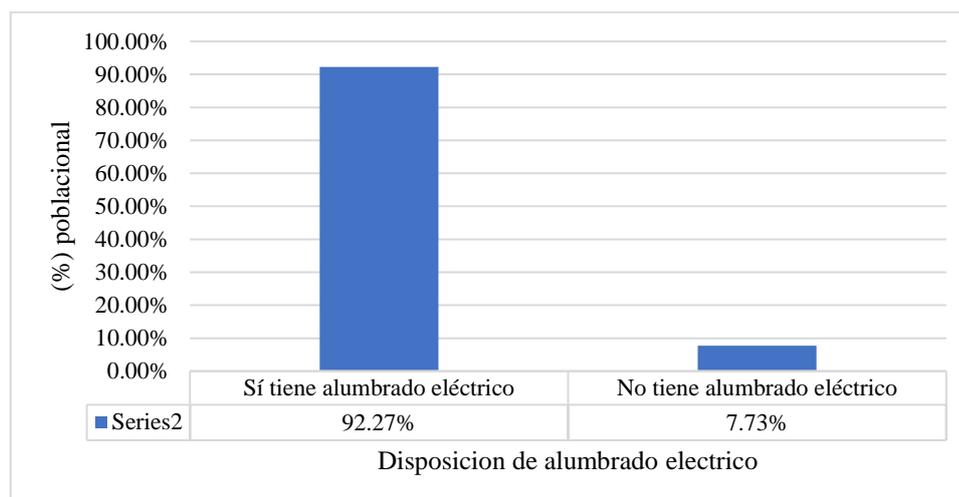


Figura 30. La vivienda tiene alumbrado eléctrico por red publica

Fuente: (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017)

Gaspari *et al.* (2011), refiere que dentro de las condiciones de habitabilidad de un centro urbano es necesario el abastecimiento de energía eléctrica, siendo así uno

de los parámetros de gran relevancia en la resiliencia, como se observa en la figura 30 el área urbana de la ciudad de Puno cuenta con un 92.27% población con alumbrado eléctrico.

4.2.4.7. Tipo de vivienda

La vivienda es una construcción debidamente acondicionada para la habitabilidad de personas, ofreciendo refugio ante escenarios climáticos. La tabla 57 es el resultado de la comparación de pares del tipo de vivienda, ordenados por el grado de resiliencia que tienen dentro del área urbana, asignándole un valor numérico según la escala de Saaty.

- **Matriz normalizada y vector priorización de tipo de vivienda**

En la tabla 57 se presenta el resultado del procesamiento de la matriz de comparación de pares a una matriz normalizada y el vector priorización del tipo de vivienda estimadas mediante la asignación de valores, para una posterior obtención de la inversa de las sumas totales y multiplicación de los valores.

Tabla 57
Matriz normalizada y vector priorización de tipo de vivienda

Tipo de vivienda	Casa Independiente	Departamento en edificio	Vivienda en casa de vecindad (Callejón, solar o corralón)	Vivienda en quinta	Vivienda improvisada	Viviendas colectivas	Local no destinado para habitación humana	Vector Priorización
Casa Independiente	0.39	0.54	0.41	0.30	0.34	0.23	0.23	0.351
Departamento en edificio	0.13	0.18	0.27	0.30	0.21	0.23	0.17	0.213
Vivienda en casa de vecindad (Callejón, solar o corralón)	0.13	0.09	0.14	0.20	0.21	0.19	0.17	0.160
Vivienda en quinta	0.13	0.06	0.07	0.10	0.14	0.14	0.17	0.115
Vivienda improvisada	0.08	0.06	0.05	0.05	0.07	0.14	0.13	0.082
Viviendas colectivas	0.08	0.04	0.03	0.03	0.02	0.05	0.10	0.050
Local no destinado para habitación humana	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.029
Suma	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Se observa una población en casas independientes con un vector priorización de 0.351, seguida de departamentos en edificios con un vector prioridad de 0.213, los cuales nos indican que tienen una óptima capacidad de resiliencia económica frente a otros tipos de viviendas como son aquellos locales que no están destinados para la habitación humana con un vector prioridad de 0.028, siendo esta una condición de mínima resiliencia económica para la población del área urbana de la ciudad de Puno.

- **Descriptor representativo del tipo de vivienda**

En la tabla 58 se presenta la estimación del valor representativo del tipo de vivienda en función del peso del descriptor y la cantidad de casos de acuerdo al tipo de vivienda.

Tabla 58
Descriptor representativo de tipo de vivienda

Descriptor	Peso del descriptor	Casos	% participación	Valor representativo
Casa Independiente	0.351	44 531	92.51%	15609.061
Departamento en edificio	0.213	1 599	3.32%	340.607
Vivienda en casa de vecindad (Callejón, solar o corralón)	0.160	1 072	2.23%	171.125
Vivienda en quinta	0.115	408	0.85%	46.845
Vivienda improvisada	0.082	320	0.66%	26.362
Viviendas colectivas	0.050	180	0.37%	9.048
Local no destinado para habitación humana	0.029	25	0.05%	0.734
Total	1.00	48135	100%	0.337

En la tabla 58 se observa la obtención del valor representativo 0.351 en función del peso del descriptor y el tipo de vivienda que habita la población, lo que nos indica que el descriptor representativo es la población con casa independiente.

En la figura 31 se observa una incidencia del 62.51% de la población con casa independiente, seguida por población con departamentos en edificios con una incidencia del 3.32%, sin embargo, también se encuentran una mínima incidencia del 0.05% de locales no destinados para habitación humana.

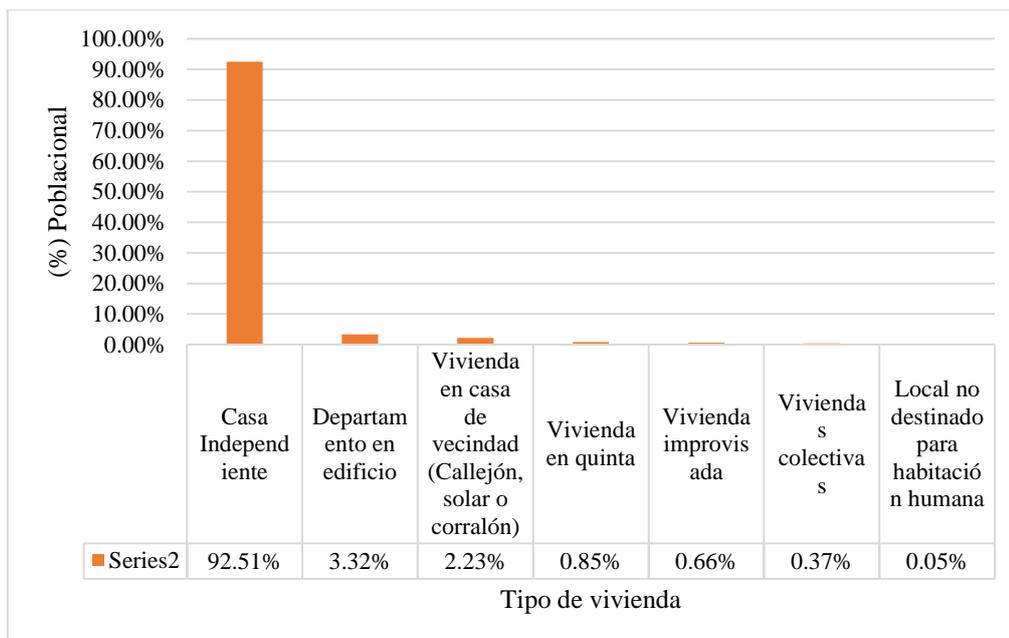


Figura 31. Tipo de vivienda

Fuente: (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017)

Fernández *et al.* (2017), menciona que el tipo de vivienda recurrente dentro de poblaciones urbanas son casas independientes y departamentos, como se observa en la tabla 58 con una incidencia de casas independientes del 92.51% seguida de otros tipos de viviendas, siendo esta una condición de resiliencia alta para la población urbana.

4.2.5. Nivel de vulnerabilidad

Los niveles de vulnerabilidad estimados para el área urbana de la ciudad de Puno se determinaron mediante el análisis de la dimensión social y económica, considerando parámetros de susceptibilidad y resiliencia ante precipitaciones pluviales.

4.2.5.1. Estimación de los índices de nivel de vulnerabilidad ante precipitación pluvial en el área urbana de la ciudad de Puno

Para la estimación de la vulnerabilidad se hace uso de los descriptores representativos de cada parámetro.

- **Componente de exposición social**

La exposición social está determinada por la población expuesta a peligrosidad en un área urbana determinada, estimada en función de los valores de cada parámetros y descriptor representativo.

Tabla 59
Estimación de valor de fragilidad social

Fragilidad social						Valor
Población según ciclo de vida		Población con alguna discapacidad		Densidad poblacional		
Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	
0.633	0.257	0.260	0.027	0.106	0.558	0.229
	0.163		0.007		0.059	

En la tabla 59 se observa la estimación del valor representativo de la fragilidad social, el cual es el resultado del cálculo de los parámetros de la población según ciclo de vida con un valor representativo de 0.163, seguida de la población con alguna discapacidad con un valor representativo de 0.007 y la densidad población con un valor representativo de 0.059, obteniéndose como resultado 0.229, siendo este el peso de la fragilidad del área urbana de la ciudad de Puno.

Tabla 60
Estimación de valor de resiliencia social

Resiliencia Social					Valor
Abastecimiento de agua en la vivienda		La vivienda tiene alumbrado eléctrico por red pública			
Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor		
0.500	0.232	0.500	0.123	0.178	
	0.116		0.062		

En la tabla 60 se observa la estimación del valor representativo de la resiliencia social, el cual es el resultado del cálculo de los parámetros de abastecimiento de agua en vivienda con un valor representativo de 0.116 y vivienda que tiene alumbrado eléctrico con un valor representativo de 0.062, obteniéndose como resultado 0.178, siendo este el peso de la resiliencia social del área urbana de la ciudad de Puno.

Tabla 61
Estimación del valor representativo de la vulnerabilidad social

vulnerabilidad social					
Fragilidad social			Resiliencia social		Valor
Valor	Peso		Valor	Peso	
0.229	0.500		0.178	0.500	0.204
	0.115		0.089		

En la tabla 61 se observa la estimación del valor representativo de la vulnerabilidad social, el cual es el resultado del cálculo de los componentes de

fragilidad social con un valor representativo 0.115 y una resiliencia social con un valor representativo de 0.089 obteniéndose como resultado 0.204, siendo este el peso de la vulnerabilidad social del área urbana de la ciudad de Puno.

- **Componente de exposición económica**

La exposición económica considera diferentes parámetros para su evaluación como son la ubicación y el tipo de material de la vivienda como el abastecimiento de servicios básicos.

Tabla 62
Estimación de valor de fragilidad de económica

Fragilidad económica								Valor
Material de construcción predominante en las paredes		Material de construcción predominante en los techos		Material de construcción predominante en los pisos		Tenencia de la vivienda		
Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	
0.563	0.052	0.267	0.063	0.108	0.146	0.062	0.251	0.078
0.029		0.017		0.016		0.016		

En la tabla 62 se observa el cálculo de fragilidad económica en función de los materiales de construcción en paredes con un valor representativo de 0.029 conjuntamente con los valores representativos de los materiales en techos y pisos, considerando la tenencia de la vivienda con un valor representativo de 0.016, obteniéndose finalmente un valor representativo de la fragilidad económica de 0.078 del área urbana de la ciudad de Puno.

Tabla 63
Estimación de valor de resiliencia económica

Resiliencia económica						Valor
Abastecimiento de agua en la vivienda		La vivienda tiene alumbrado eléctrico por red pública		Tipo de vivienda		
Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	
0.539	0.306	0.297	0.900	0.164	0.351	0.436
0.165		0.234		0.037		

En la tabla 63 se muestra el cálculo de la resiliencia económica, puesto que se calculó en función del abastecimiento de agua en la vivienda con un valor

representativo de 0.165, seguida de viviendas que tienen alumbrado eléctrico por red pública con un valor representativo de 0.234 y por último se consideró el tipo de vivienda con un valor representativo de 0.436, obteniéndose finalmente un valor representativo de la resiliencia económica de 0.436 del área urbana de la ciudad de Puno.

Tabla 64
Estimación del valor representativo de la vulnerabilidad económica

Fragilidad económica		resiliencia económica		Valor
Valor	Peso	Valor	Peso	
0.087	0.500	0.436	0.500	0.262
0.0435		0.218		

En la tabla 64 se considera los valores representativos de la fragilidad económica con 0.0435 y la resiliencia económica con 0.218, obteniéndose un valor representativo de la vulnerabilidad económica de 0.262 correspondientes al área urbana de la ciudad de Puno.

Tabla 65
Estimación de índice de vulnerabilidad

Vulnerabilidad social		Vulnerabilidad económica		Vulnerabilidad
Valor	Peso	Valor	Peso	
0.204	0.500	0.262	0.500	0.273
0.102		0.171		

En la tabla 65 se muestra lo que se obtuvo una vulnerabilidad de 0.273, la cual es el resultado de la suma de los valores representativos de la vulnerabilidad social y vulnerabilidad económica, siendo esta el valor representativo de la vulnerabilidad en el área urbana de la ciudad de Puno.

Tlatempa (2015), para la obtención de un valor representativo de vulnerabilidad se realiza la evaluación de parámetros sociales y económicos en función a valores de fragilidad y resiliencia de la población, así mismo en la tabla 65 se observa el procesamiento y obtención de la vulnerabilidad en concordancia con lo referido.

1.1.1 Niveles de vulnerabilidad

La vulnerabilidad es la susceptibilidad del área urbana de la ciudad de Puno frente a diversos fenómenos de origen natural, los cuales son estratificados para poder

realizar la evaluación de riesgo. En la tabla 66 se presenta los rangos de vulnerabilidad, correlacionado con los niveles de peligrosidad presentes en el área urbana de la ciudad de Puno.

Tabla 66
Rango y nivele de vulnerabilidad

Rango de vulnerabilidad	Nivel de vulnerabilidad
$0.161 \leq R < 0.354$	Muy alto
$0.085 \leq R < 0.161$	Alto
$0.038 \leq R < 0.085$	Medio
$R < 0.038$	Baja

La tabla 66 refiere que el nivel de vulnerabilidad muy alto se encuentra en rangos de ($0.161 \leq R < 0.354$), seguida de los niveles alto, medio y bajo, los cuales están estratificados de acuerdo a características particulares de fragilidad y resiliencia de la población que habita en el área urbana de la ciudad de Puno.

En referente a lo obtenido en la estimación del índice de vulnerabilidad representativo para el área urbana de la ciudad de Puno con un valor de 0.273, se categoriza dentro del rango ($0.161 \leq R > 0.354$), correspondiente a un nivel de vulnerabilidad muy alto.

Fernández *et al.* (2017), identifica cuatro niveles de vulnerabilidad en función a características propias de la población, como se categoriza en la tabla 66.

1.1.2 Estratificación de niveles de índices de vulnerabilidad

La estratificación de los niveles de vulnerabilidad refiere a la categorización cualitativa y parametrizada de las características poblacionales que influyen en la fragilidad y resiliencia presentes en el área urbana de la ciudad de Puno.

Tabla 67
Estratificación de los niveles de índices de vulnerabilidad

Descripción	Rango	Nivel de vulnerabilidad	f (km ²)	%
Población según ciclo de vida de Primera infancia de 0 a 5 años y Adultos mayores de 60 años a más. Población con alguna discapacidad para ver, oír y moverse o caminar y/o para ver y moverse o caminar y/o para ver y oír. Densidad poblacional de 150 habitantes por hectárea a más y una población que no está afiliada a seguro de salud y sin nivel educativo. Viviendas con Paredes de Triplay, calamina, estera, Madera y Quincha. Vivienda con pisos de Tierra, Láminas asfálticas, vinílicos o similares con techos de Paja, hoja de palmera y similares, Triplay, estera, carrizo y Caña o estera con torta de barro o cemento y una tenencia de la vivienda en condición de alquiler. Asimismo, se encuentran vivienda no destinada para habitación humana con abastecimiento de agua miéntate río, acequia, lago, laguna, manantial o puquio. La vivienda no tiene alumbrado eléctrico por red pública.	0.161 ≤ R < 0.35 4	Muy alta	17.4	100%
Población en un ciclo de vida de niños de 6 a 11 años y adultos de 45 a 49 años con adolescentes de 12 a 17 años. Población con discapacidad solo para moverse o caminar, solo para oír/ solo para ver. Densidad poblacional de 100 a 150 habitantes por hectárea. Población afiliada a seguro privado de salud y/o solo otro seguro de salud. Población con último nivel de estudio que aprobó básica especial, secundaria, primaria. viviendas con paredes de tapia, adobe, viviendas con pisos de madera. Viviendas con techos de madera y una tenencia de vivienda propias sin título de propiedad en quinta, improvisada o colectivas con alumbrado eléctrico. abastecimiento de agua en la vivienda por pilón o pileta de uso público, vecino, camión cisterna u otro similar.	0.085 ≤ R < 0.16 1	Alto	-	0%
Población según ciclo de vida de jóvenes de 18 a 29 años y una población con alguna discapacidad solo para entender o aprender o solo para relacionarse con los demás y solo para hablar o comunicarse. Densidad poblacional de 50 a 100 habitantes por hectárea y una población afiliada Solo a Seguro de fuerzas armadas o policiales. población con estudios superiores no universitaria completa y Superior no universitaria incompleta. Viviendas con paredes piedra con barro, piedra o sillar con cal o cemento, ladrillo o bloque de cemento. Vivienda con pisos parquet o madera pulida, losetas, terrazos, cerámicos o similares.	0.038 ≤ R < 0.08 5	Medio	-	0%

<p>Viviendas con techos de tejas, planchas de calamina, fibra de cemento o similares y concreto armado. Tenencia de vivienda propia con título de propiedad o cedida, El tipo de vivienda refiere a departamento en edificio y vivienda en casa de vecindad con alumbrado eléctrico por red pública, con abastecimiento de agua en la vivienda por pozo y red pública fuera de la vivienda, pero dentro de la edificación.</p>		
<p>Población según adulta joven de 30 a 44 años, que no tiene ninguna discapacidad afiliada Solo seguro integral de salud (SIS) y solo ESSALUD, densidad poblacional de 0 a 50 habitantes por hectáreas. Población con último nivel de estudio que aprobó es maestría, doctorado, superior universitaria completa y superior universitaria incompleta. Viviendas con paredes de otros materiales, pisos de cemento con techos de otros materiales y otras formas de tenencia de la vivienda. El tipo de vivienda es casa independiente con alumbrado eléctrico por red pública. Abastecimiento de agua en la vivienda es por red pública dentro de la vivienda.</p>	<p>R<0.03 8</p>	<p>Bajo</p> <p>- 0%</p>

En la tabla 67 se puede observar una incidencia del 100% de la vulnerabilidad es muy alta, siendo este el resultado de cálculos previos de valores representativos de fragilidades y resiliencia, la cual está dada por una población en un ciclo de vida en primera infancia entre 0 a 5 años y adultos mayores de 60 años a más, población con alguna discapacidad para ver, oír y moverse o caminar y/o para ver y moverse o caminar y/o para ver y oír, densidad poblacional de 150 habitantes por cada hectárea a más seguida de una población que no está afiliada a seguro de salud y no tiene nivel educativo alguno. De la misma forma se encuentran viviendas con paredes de triplay, calamina, estera, madera y quincha con pisos de tierra, láminas asfálticas, vinílicos o similares, con techos de paja, hoja de palmera y similares, triplay, estera, carrizo y caña o estera con torta de barro o cemento y una tenencia de la vivienda en condición de alquiladas.

SINAGERD (2011, 2014), refiere que el territorio nacional tiene una vulnerabilidad alta y muy alta, de la misma manera en la presente investigación se obtuvo un nivel de vulnerabilidad alto, con características socioeconómicas propias de la población.

El mapa de vulnerabilidad refiere al área geográfica en el cual existe la posibilidad de la ocurrencia de daños a causa de eventos hidrológicos, basado en las características físicas que nos refleja de forma gráfica el área urbana afectada por el nivel muy alto, la cual fue estimada mediante valores representativos de características particulares de la población de Puno.

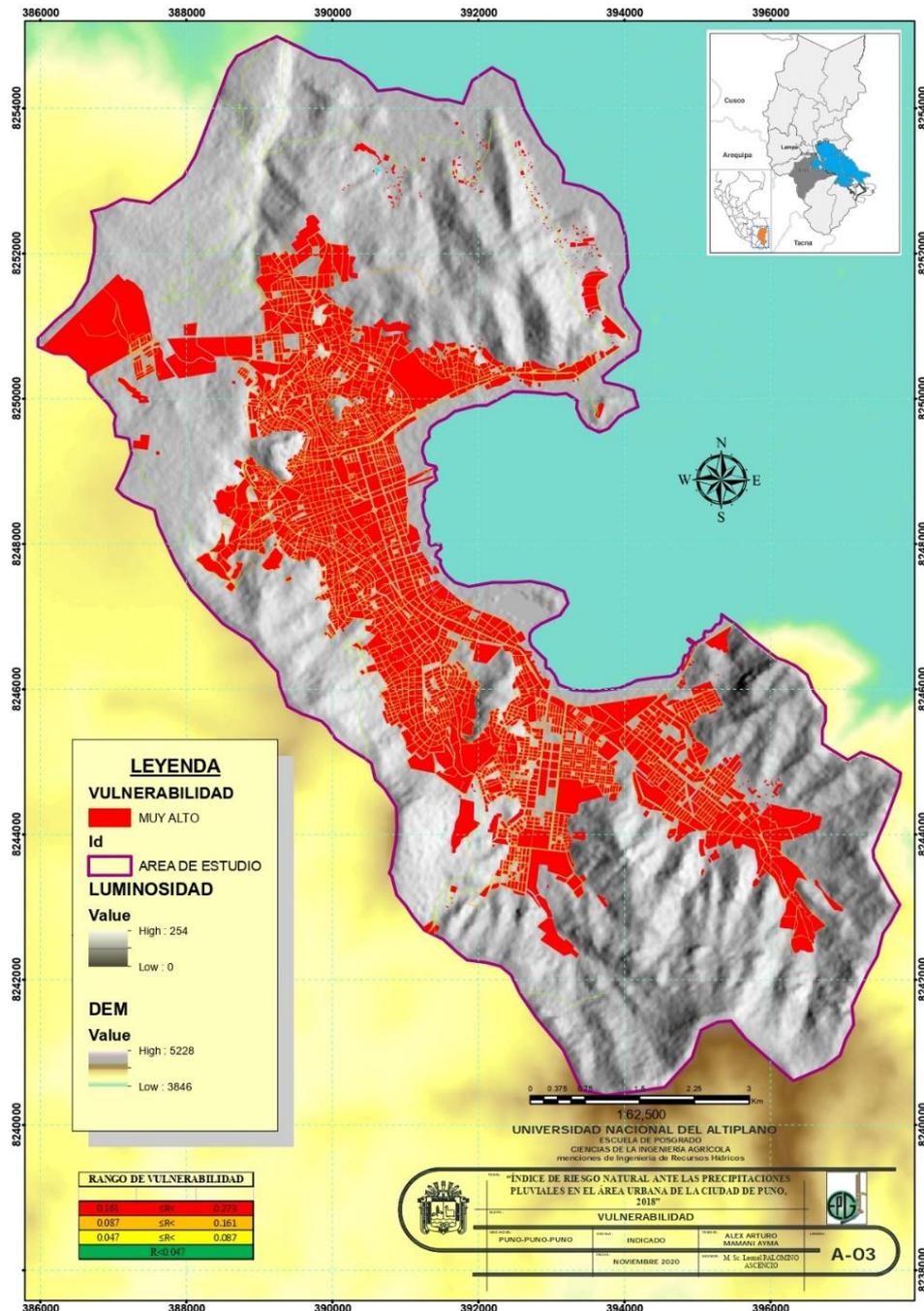


Figura 32. Mapa de vulnerabilidad del área urbana de la ciudad de Puno

En la figura 32 presenta la afectación al 100% de los niveles de vulnerabilidad en relación al área que ocupan dentro de la zona estudiada, obtenidas del procesamiento metodológico de análisis jerárquico y la obtención del índice de vulnerabilidad representativo para un posterior procesamiento en el software Arcgis 10.7.

CENEPRED (2014) y Valenzuela (2003), mencionan que para un mejor procesamiento del índice de vulnerabilidad poblacional, es necesario hacer relevancia el uso de evaluaciones multicriterio y herramientas del sistema de información geográfica. En razón a lo referido se obtiene la figura 32, la cual es el resultado del procesamiento de datos poblacionales.

1.1.3 Índices de vulnerabilidad en el área urbana de la ciudad de Puno

Para la estimación de los índices de vulnerabilidad ante precipitaciones pluviales con parámetros de RR./día > 99p, se realizó el procesamiento de análisis jerárquico, obteniéndose como resultado 0.273, el valor referido se encuentra dentro del rango de índices de vulnerabilidad muy alta siendo estas iguales o mayores a 0.161 y menores o iguales a 0.354, abarcando un área superficial de 18.014 km² y con una incidencia en el 100% de la población representativa como se refiere en la figura 33.



Figura 33. Incidencia del nivel de vulnerabilidad

4.2.6. Discusión de los resultados de la determinación de los niveles de vulnerabilidad ante precipitaciones pluviales

En referente a la determinación de los niveles de vulnerabilidad ante precipitaciones pluviales en el área urbana de la ciudad de Puno. Se determinó que los niveles de vulnerabilidad presentes son de nivel muy alto de rango $0.161 \leq R < 0.354$, niveles de vulnerabilidad alto de rango $0.085 \leq R < 0.161$, niveles de vulnerabilidad media de rango $0.038 \leq R < 0.085$ y nivel de vulnerabilidad baja de rango $R < 0.038$. La vulnerabilidad representativa estimada para el área urbana de la ciudad de Puno es 0.273, el cual se encuentra entre los parámetros $0.161 \leq R > 0.354$, correspondiente a un nivel de vulnerabilidad muy alto. Lo que nos da a entender que la estimación de los índices de vulnerabilidad ante precipitaciones pluviales con parámetros de $RR./\text{día} > 99p$ mediante el procesamiento de análisis jerárquico dan como resultado 0.273, el valor referido se encuentra dentro del rango de índices de vulnerabilidad muy alta siendo estas iguales o mayores a 0.161 y menores o iguales a 0.354, abarcando un área superficial de 18.014 km^2 y con una incidencia en el 100% de la población representativa. Frente a lo mencionado se acepta la hipótesis específica dos, donde refiere que la vulnerabilidad ante precipitaciones pluviales es de nivel muy alto, el cual está condicionados por factores sociales y económicos del área urbana de la ciudad de Puno. Estos resultados son corroborados con lo que indica Llorente (2009) en los riesgos geológicos: técnicas de análisis y mitigación, quien en su investigación refiere que la población especialmente vulnerable está dado por sectores de edad menor de 5 o mayor de 65 años, discapacitados, conocimiento del idioma castellano, enfermos y convalecientes, infraestructuras vulnerables, accesibilidad de los edificios, estado de conservación de los edificios, número de plantas sobre rasante, número de plantas bajo rasante. De la misma manera refiere una vulnerabilidad colectiva caracterizada por la densidad de población por vivienda, posible interrupción de vías de comunicación, número de vías por término municipal, número de intersecciones de vías, existencia de zonas adecuadas para la evacuación, pendiente del terreno, distancia a los cauces, distancia a vías de comunicación, distancia a los núcleos de población. Así también Muñoz & Arroyave (2017) en su estudio de la percepción del riesgo y apego al lugar en población expuesta a inundación, refiere que un alto nivel de apego de los grupos sociales al área urbana habitada, sin considerar los aspectos físicos hacen elevar el nivel de vulnerabilidad.

Así mismo la Municipalidad Provincial de Puno (2015) en el plan de desarrollo urbano de la ciudad de Puno refiere que una ocupación abrupta y desordenada del espacio urbano dio lugar a un panorama de centros poblados altamente vulnerables, con altos índices de riesgo y una incontrolada y creciente degradación de las estructuras físico-espaciales que conforman el paisaje urbano. Las consecuencias sociales y culturales derivadas de los asentamientos en pendientes fuertes son: dificultad en la prestación de servicios públicos como limpieza pública y transporte; inseguridad; dificultades de acceso a los centros educativos; dificultad en las campañas con la comunidad; dificultad en la atención de desastres como evacuación de heridos y enfermos; sensación de abandono por parte del estado; desmotivación y cambios en la escala de valores de sus moradores. Corroborado con lo que refiere SINAGERD (2014). en el plan nacional de gestión del riesgo de desastres refiere que la población vulnerable es aquella que está expuesta y es susceptible a sufrir daños ante la ocurrencia de peligros originados por fenómenos naturales o inducidos por la acción humana. Bajo esta óptica, la población vulnerable del país se encuentra en condiciones de riesgo medio, alto y muy alto, localizada en las áreas urbanas marginales y en las zonas alto andinas principalmente, en las cuales también coexisten la pobreza y extrema pobreza, junto a su baja resiliencia. según el mapa de vulnerabilidad física en donde nos alerta que el 46% del territorio nacional se encuentra en condiciones de vulnerabilidad alta a muy alta y que, además, el 36.2% de la población nacional (9'779,370 habitantes aprox.) ocupan y usan este espacio territorio para lo cual el INGEMMET (2015) en el foro internacional sobre la gestión del riesgo geológico referente a la vulnerabilidad y riesgos: acciones de salud que favorecen la toma de decisiones en la gestión de desastres (Jujuy, Argentina), refiere que, para la valoración de la vulnerabilidad se toma en cuenta eventos específicos de amenazas hidrometeorológicas, estableciendo niveles de vulnerabilidad, de acuerdo a las condiciones socioeconómicas y culturales de la población, los cuales son: vulnerabilidad baja; vulnerabilidad media; vulnerabilidad alta y vulnerabilidad muy alta. En tal sentido bajo lo referido anteriormente y al analizar los resultados, confirmamos que la vulnerabilidad ante precipitaciones pluviales es de nivel muy alto, el cual tiene una relación directa con las condiciones sociales, económicas y culturales de la población que habita el área urbana de la ciudad de Puno.

4.3. Cálculo de riesgos naturales ante precipitaciones pluviales, en el área urbana de la ciudad de Puno

CENEPRED (2014) y SINAGERD (2014), mencionan que la estimación del riesgo de un área urbana se desarrolla en función al producto de los niveles de peligrosidad y niveles de vulnerabilidad, como se refiere en la tabla 68.

$$R_{ie} = |f(P_i, V_e)|$$

R_{ie} =riesgo del área de estudio

f =función

P_i =peligro en el área de estudio

V_e = Vulnerabilidad de los elementos expuestos en el área de estudio

Tabla 68

Estimación de riesgo del área de estudio

Peligrosidad		Vulnerabilidad		Riesgo
PMA	0.332	VMA	0.354	0.118
PA	0.297	VA	0.161	0.048
PM	0.263	VM	0.085	0.022
PB	0.234	VB	0.038	0.009

4.3.1. Niveles de riesgos

En la tabla 69 se presenta los rangos de riesgos obtenidos de la tabla 68 y 70, correlacionado con los niveles de riesgos presentes en el área urbana de la ciudad de Puno.

Tabla 69

Rangos y niveles de riesgo

Rango de riesgo	Nivel de riesgo
$0.048 \leq R < 0.118$	Muy alto
$0.022 \leq R < 0.048$	Alto
$0.009 \leq R < 0.022$	Medio
$R < 0.009$	Baja

El nivel de riesgo muy alto se encuentra entre los rangos de riesgo de 0.048 a 0.118, seguida de un nivel alto de parámetros de 0.022 a 0.048 y el nivel de riesgo medio entre rangos de 0.009 a 0.022 y por último el nivel de riesgo bajo de valores menores de 0.009.

Duque (2017), nos refiere que los niveles de riesgo ante precipitación pluviales son el resultado de un análisis multicriterio, mediante herramientas de sistema de

información geográfica, de la vulnerabilidad y peligrosidad con una categorización de 4 niveles, como se refieren en la tabla 69.

4.3.1.1. Matriz de índices de riesgos

En la tabla 70 se presenta la matriz de estimación de índices de riesgo, el cual está en función de los rangos peligrosidad y vulnerabilidad.

Tabla 70
Matriz de estimación de índices de riesgo

		Vulnerabilidad				
		VB	VM	VA	VMA	
Peligrosidad	PMA	0.332	0.038	0.085	0.161	0.354
	PA	0.297	0.011	0.028	0.054	0.118
	PM	0.263	0.010	0.022	0.042	0.093
	PB	0.234	0.009	0.020	0.038	0.083

En la tabla 70 se observa una matriz de doble entrada, donde los niveles de vulnerabilidad y peligrosidad presentan sus respectivos índices previamente calculados siendo los resultados la fila oblicua de la matriz entre 0.009 a 0.118.

Acuña (2016), el proceso de la obtención de los índices de riesgo está dada por una matriz de doble entrada, de peligrosidad y vulnerabilidad, siendo el resultado la diagonal principal, como se observa en la tabla 70.

4.3.1.2. Estratificación de niveles de índices de riesgo

En la tabla 71 se presenta la estratificación de los índices de afectación del riesgo ante precipitaciones pluviales, obtenida del análisis de peligrosidad y vulnerabilidad presentes en el área urbana de la ciudad de Puno.

Tabla 71
Estratificación de niveles de índices riesgo

Descripción	Rango	Nivel de riesgo	f (km ²)	%
La unidad geomorfología predominante: cima, ladera con pendiente alta. Zonificación geotécnica; Z-8 Z-6. Pendiente; > 45°, 25° - 45°. Litología; grupo Puno, formación Huancané. Población según ciclo de vida de primera infancia de 0 a 5 años y adultos mayores de 60 años a más. Población con alguna discapacidad para ver, oír y moverse o caminar y/o para ver y moverse o caminar y/o para ver y oír. Densidad poblacional de 150 habitantes por hectárea a más y una población que no está afiliada a seguro de salud y sin nivel educativo. Viviendas con paredes de triplay, calamina, estera, madera y quincha. Vivienda con pisos de tierra, láminas asfálticas, vinílicos o similares con techos de paja, hoja de palmera y similares, triplay, estera, carrizo y caña o estera con torta de barro o cemento y una tenencia de la vivienda en condición de alquiler. Asimismo, se encuentran vivienda no destinada para habitación humana con abastecimiento de agua de río, acequia, lago, laguna, manantial o puquio. La vivienda no tiene alumbrado eléctrico por red pública.	0.048 ≤ R < 0.11 8	Muy alta	9.55	52.91
Geomorfología: Ladera con pendiente media, ladera con pendiente baja. Zonificación geotécnica: Z-7, Z-4. Pendiente: 15° - 25°. Litología: grupo Tacaza. Población en un ciclo de vida de niños de 6 a 11 años y adultos de 45 a 49 años con adolescentes de 12 a 17 años. Población con discapacidad solo para moverse o caminar, solo para oír/ solo para ver. Densidad poblacional de 100 a 150 habitantes por hectárea. Población afiliada a seguro privado de salud y/o solo otro seguro de salud. Población con último nivel de estudio que aprobó básica especial, secundaria, primaria. viviendas con paredes de tapia, adobe, viviendas con pisos de madera. Viviendas con techos de madera y una tenencia de vivienda propias sin título de propiedad en quinta, improvisada o colectivas con alumbrado eléctrico. abastecimiento de agua en la vivienda por pilón o pileta de uso público, vecino, camión cisterna u otro similar.	0.022 ≤ R < 0.04 8	Alto	8.50	47.09
Geomorfología: colina media, colina baja, planicie, escarpa. Zonificación geotécnica Z-5, Z-2. Pendiente de 5° -15°. Litología: formación Ayabaca. Población según ciclo de vida de jóvenes de 18 a 29 años y una población con alguna discapacidad solo para entender o aprender o solo para relacionarse con los demás y solo para hablar o comunicarse. Densidad poblacional de 50 a 100 habitantes por hectárea y una población afiliada Solo a Seguro de fuerzas armadas o policiales. población con estudios superiores no universitaria completa y Superior no universitaria incompleta. Viviendas con paredes piedra con barro, piedra o sillar con cal o cemento, ladrillo o bloque de cemento. Vivienda con pisos parquet o madera pulida, losetas, terrazos, cerámicos o similares. Viviendas con techos de tejas, planchas de calamina, fibra de cemento o similares y concreto armado. Tenencia de vivienda	0.009 ≤ R < 0.02 2	Medio	-	-

<p>propia con título de propiedad o cedida, el tipo de vivienda refiere a departamento en edificio y vivienda en casa de vecindad con alumbrado eléctrico por red pública, con abastecimiento de agua en la vivienda por pozo y red pública fuera de la vivienda, pero dentro de la edificación.</p>		
<p>Geomorfología: lomada, valle en v, llanura, llanura de inundación. Zona geotécnica: Z-3, Z-1, Z-9, Z-10. Pendiente: <math><5^\circ</math>. Litología: formación Umayo, cuaternario aluvial, intrusivo diorítico. Población según adulta joven de 30 a 44 años, que no tiene ninguna discapacidad, población con solo seguro integral de salud (SIS) y solo ESSALUD, densidad poblacional de 0 a 50 habitantes por hectáreas. Población con último nivel de estudio que aprobó es maestría, doctorado, superior universitaria completa y superior universitaria incompleta. Viviendas con paredes de otros materiales, pisos de cemento con techos de otros materiales y otras formas de tenencia de la vivienda. El tipo de vivienda es casa independiente con alumbrado eléctrico por red pública. Abastecimiento de agua en la vivienda es por red pública dentro de la vivienda.</p>	<p>$R < 0.00$ 9</p> <p>Bajo</p>	<p>- -</p>

En la figura 34 se presenta el mapa de riesgos ante precipitaciones pluviales del área urbana de la ciudad de Puno, con una mayor incidencia del nivel de riesgo muy alto con 52.91% seguido del nivel de riesgo alto con una incidencia del 47.09%.

obtención de la figura 34, obteniéndose una mayor incidencia de afectación de niveles de riesgo muy alto con 52.91% en el área urbana de la ciudad de Puno como se observa en la figura 35.

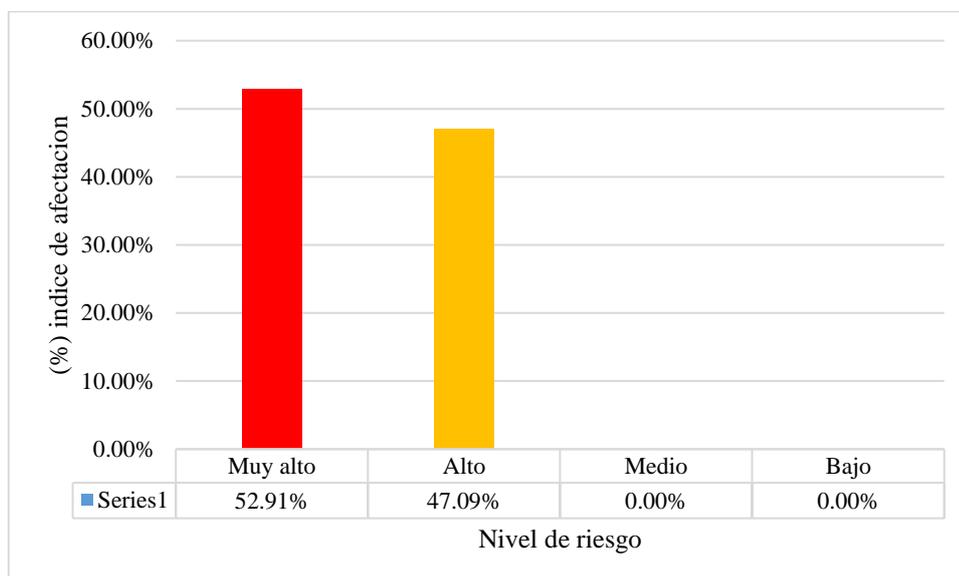


Figura 35. Índice de afectación del riesgo natural ante precipitaciones pluviales.

4.3.1.3. Zonificación de los índices de afectación por barrios e habilitaciones urbanas

De la misma manera el mapa R-21 ubicado en los anexos, nos refiere el índice de afectación por riesgos naturales ante precipitaciones pluviales, por unidades urbanas (barrios y urbanizaciones) dando como resultado 52 unidades urbanas con índice de afectación muy alto, dentro de los cuales encontramos al barrio José Antonio Encinas, barrio Azoguini, barrio Paxa, barrio Orkapata, barrio Ricardo Palma, entre otras. Asimismo encontramos 30 unidades urbanas con alto nivel de índice de afectación de riesgo ante precipitaciones pluviales, como se observa en el barrio Porteño, barrio Magisterial, barrio Progreso entre otras unidades urbanas las cuales presentan solamente niveles de riesgo alto, de igual manera se observa 85 unidades urbanas afectadas por ambos índices de afectación en el cual encontramos al barrio Miraflores, barrio Chanu Chanu, barrio San Antonio, barrio Santa Rosa, barrio San José, entre otras unidades urbanas.

4.3.1.4. Índices de riesgo en el área urbana de la ciudad de Puno

Los índices de afectación de los riesgos naturales ante las precipitaciones pluviales en el área urbana de la ciudad de Puno están dentro de los niveles de riesgo muy

alto con valores mayores o iguales a 0.048 y valores menores o iguales a 0.118 el cual representa el 52.91% del área urbana de la ciudad de Puno, afectando a 68,729.00 habitantes, de la misma manera el índice de riesgo alto se presenta entre valores mayores o iguales a 0.022 y menores de 0.048 el cual tiene una incidencia en el 47.09% del área urbana de la ciudad de Puno, afectando a 61,193 habitantes.

En el proceso de estimación de índices de riesgos no se obtiene valores representativos de índices de riesgo bajo e índices de riesgo medio en el área urbana de estudio, ya que la vulnerabilidad estimada presente es muy alta, concluyendo que el área urbana de la ciudad de Puno ante precipitaciones pluviales con parámetros de $RR./día > 26.8$ mm presenta riesgo alto a muy alto.

4.3.2. Discusión de los resultados de la caracterización del índice de riesgo natural ante las precipitaciones pluviales

En referente a la caracterización del índice de riesgo natural ante las precipitaciones pluviales en el área urbana de la ciudad de Puno, se pudo encontrar que los índices de afectación del riesgo natural ante las precipitaciones pluviales están dentro de los niveles de riesgo muy alto con rangos ≥ 0.048 a ≤ 0.118 e índice de riesgo alto se presenta entre rangos ≥ 0.022 a ≤ 0.048 , concluyendo que el área urbana de la ciudad de Puno ante precipitaciones pluviales con parámetros de $RR./día > 26.80$ mm presenta riesgo alto a muy alto. esto quiere decir que el nivel de riesgo muy alto tiene un índice de afectación del 52.90% del área urbana de la ciudad de Puno, afectando a 68,729 habitantes y el nivel de riesgo alto tiene un índice de afectación del 47.10% del área urbana de la ciudad de Puno, afectando a 61,193 habitantes. En el proceso de estimación de índices de riesgos no se obtiene valores representativos de índices de riesgo bajo e índices de riesgo medio en el área urbana de estudio, ya que la vulnerabilidad estimada presente es muy alta. A partir de los hallazgos encontrados aceptamos la hipótesis alternativa general que establece que las características del índice de riesgo natural ante las precipitaciones pluviales están dentro de los niveles de riesgo alto y muy alto, debido a la influencia del nivel alto de vulnerabilidad y peligrosidad en el área urbana de la ciudad de Puno. Estos resultados guardan relación con lo que sostiene Barreto (2005), en la estimación de un índice de riesgo múltiple en el área urbana, quien señala que la implementación de un índice de riesgo múltiple es la base para la elaboración de mapas considerando la evaluación de

vulnerabilidad y características particulares de la zona de Colima, usando indicadores y modelos matemáticos. De igual manera con lo que sostiene López *et al.* (2002) en el diagnóstico de riesgos urbanos en el área metropolitana de Tijuana, quienes señalan que el nivel de riesgo alto estimado es el producto de la vulnerabilidad y la peligrosidad, siendo las precipitaciones pluviales el principal factor de erosión y modelamiento en la ciudad de Tijuana, arrastrando sólidos y depositándolo en las zonas bajas de la cuenca. Estos autores expresan la importancia de la interrelación entre la de vulnerabilidad y peligrosidad como factores determinantes para la estimación del índice de riesgo natural, corroborando que cada zona presenta diferentes características o parámetros para su cálculo mediante modelos matemáticos. Como refiere Guaman (2012), en la aplicación de SIG para el manejo de riesgos naturales en el área urbano de la ciudad de Loja, donde menciona que el mapa de riesgos es producto de la combinación de los mapas de vulnerabilidad y amenaza, se observa el riesgo alto y muy alto a movimientos en masa corresponden al 8,80%, y el 91,20% a un riesgo moderado a bajo. finalmente, del análisis realizado se tiene que el 53,40% del área total corresponde a zonas urbanizables. el 28,15% del área total corresponde a zonas urbanizables con restricciones y el 18,46% corresponde a terrenos no urbanizables. Ello nos indica que cada índice y nivel de riesgo depende de las características propias de cada área urbana, identificando variables de acuerdo a los factores y descriptores formulados, de forma complementaria. Según Rossi *et al.* (2019), modelar diferentes peligros permite la comparación de los niveles de riesgo social, lo que contribuirá a determinar los niveles de riesgo de áreas urbanas donde coexisten múltiples peligros; facilitará la evaluación de los niveles de riesgo social frente a los criterios de aceptación del riesgo, y contribuirá a la gestión de riesgos. Según SINAGERD (2014) en el plan nacional de gestión del riesgo de desastres 2014 – 2021, refiere que los escenarios de riesgo se estiman a partir de la interacción de los peligros y las vulnerabilidades, de la misma manera refiere que los riesgos de origen hidrometeorológicos afectan a una población con susceptibilidad social, económica y ambiental a nivel nacional en un 34% de la población total. Por otro lado la Municipalidad Provincial de Puno (2015) en el plan de desarrollo urbano de la ciudad de Puno, señala que los terrenos con características aceptables para la urbanización ya se encuentra ocupados, los cuales están condicionados por la cadena de formación rocosa y la bahía interior de Puno, presentando una geomorfología diversa con afectación de una erosión antrópica

activa, los cuales se ven afectados entre los meses de diciembre a marzo como como en todo la parte de la serranía, de la misma manera INDECI (2005) refiere en el mapa de peligros de la ciudad de Sicuani y localidad de Qqehuar, que las precipitaciones pluviales entre los meses de diciembre a marzo son los principales agentes desencadenantes de desastres en correlación con edificaciones construidas de forma deficiente. En tal sentido bajo lo referido anteriormente se señala que la evaluación de los índices de riesgo no solo incluye analizar la peligrosidad sino también la vulnerabilidad de la población con un esfuerzo interdisciplinario y la implicación de diferentes actores y el apoyo de especialistas, para identificar la incidencia del nivel de riesgo en el área urbana de la ciudad de Puno, condicionadas por un alto grado de vulnerabilidad.

4.3.3. Aceptabilidad o tolerancia del riesgo

4.3.3.1. Valoración de las consecuencias

La consecuencia se define como el resultado de alguna circunstancia u echo previo que afecta a nivel social y económico a un grupo poblacional, considerando los peligros presentes en el área urbana de la ciudad de Puno ante precipitaciones pluviales en correlación con el medio físico y las dimensiones sociales y económicas, se estima que los riesgos presentes pueden ser gestionada con apoyo externo, el cual corresponde a un nivel Alto de consecuencias, como se refiere en la tabla 72.

Tabla 72
Valoración y descripción de consecuencias

Valor	Nivel	Descripción
4	Muy Alta	Las consecuencias debido al impacto de un fenómeno natural son catastróficas.
3	Alta	Las consecuencias debido al impacto de un fenómeno natural pueden ser gestionadas con apoyo externo.
2	Medio	Las consecuencias debido al impacto de un fenómeno natural pueden ser gestionadas con los recursos disponibles.
1	Baja	Las consecuencias debido al impacto de un fenómeno natural pueden ser gestionadas sin dificultad

Fuente: (CENEPRED, 2014)

4.3.3.2. Valoración de frecuencia

La frecuencia es el número de veces que sucede un evento dentro de un periodo de tiempo en un área superficial determinada.

Las precipitaciones pluviales en el área de estudio no se presenta de forma permanente sino por temporadas, pueden ocurrir en periodos de tiempo medianamente largos según las circunstancias, en tal sentido posee un nivel de alto de frecuencia como se refiere en la tabla 73.

Tabla 73
Valoración y descripción de frecuencia

Valor	Nivel	Descripción
4	Muy Alta	Pueden ocurrir en la mayoría de las circunstancias.
3	Alta	Pueden ocurrir en el periodo de tiempo medianamente largos según las circunstancias.
2	Medio	Pueden ocurrir en periodos de tiempo largos según las circunstancias.
1	Baja	Puede ocurrir en circunstancias excepcionales.

Fuente: (CENEPRED, 2014)

4.3.3.3. Nivel de consecuencia y daño

Considerando una aceptabilidad alta y frecuencia alta obtenemos un nivel de consecuencias y daño alto, como se refiere en la tabla 74.

Tabla 74
Consecuencia y daños

Consecuencias	Nivel	consecuencia y daños			
Muy alta	4	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
Alta	3	Alta	Alta	Alta	Muy Alta
Media	2	Media	Alta	Alta	Alta
baja	1	Baja	Media	Alta	Alta
	Nivel	1	2	3	4
	Frecuencia	Baja	Media	Alta	Muy Alta

Fuente: (CENEPRED, 2014).

Las medidas cualitativas de consecuencia y daño alto estimado en la tabla 75 está caracterizada por la siguiente tabla 75.

Tabla 75

Medidas cualitativas de consecuencias y daño

Nivel	Descriptor	Descripción
4	Muy alta	Muerte de personas, enorme pérdida y bienes y financieros
3	Alta	Lesiones grandes en las personas, pérdida de la capacidad de producción, pérdida de bienes y financieras importantes.
2	Media	Requiere tratamiento médico en las personas, pérdidas de bienes y financieras altas.
1	Baja	Tratamiento de primeros auxilios a las personas, pérdidas de bienes y financieras altas.

Fuente: (CENEPRED, 2014)

Según el CENEPRED (2014), menciona que la obtención de niveles de consecuencia y daño alto la aceptabilidad y/o tolerancia es inaceptable, debido a la gran necesidad de desarrollar actividades prioritarias para el manejo de riesgos ante precipitaciones pluviales, como se refiere en la tabla 76.

Tabla 76

Aceptabilidad y/o Tolerancia del riesgo

Valor	Descriptor	Descripción
4	Inadmisible	Se debe aplicar inmediatamente medidas de control físico y de ser posible transferir inmediatamente recursos económicos para reducir los riesgos.
3	Inaceptable	Se deben desarrollar actividades inmediatas y prioritarias para el manejo de riesgos.
2	Tolerable	Se deben desarrollar actividades para el manejo de riesgos.
1	Aceptable	El riesgo no presenta un peligro significativo.

Fuente: (CENEPRED, 2014)

Según se observa en la tabla 76 se recomienda que se deben realizar acciones inmediatas para la gestión de riesgos naturales ante precipitaciones pluviales.

4.4. Medidas de mitigación de los riesgos naturales ante precipitaciones pluviales en el área urbana de la ciudad de Puno

Las medidas de control propuestas para el área urbana de la ciudad de Puno están direccionadas para la mitigación de áreas de riesgo, mediante estrategias preventivas de tipo no estructural y estructural las cuales actúan directamente en el medio físico y en la población involucrada para la toma de decisiones de forma rápida y efectiva ante algún desastre.

4.4.1. Medidas de orden no estructural

Son medidas de conocimiento práctico que no requieren la construcción de estructuras e involucran directamente a la población para la reducción de susceptibilidades y vulnerabilidades del área urbana de la ciudad de Puno, como se detalla en la figura 36.

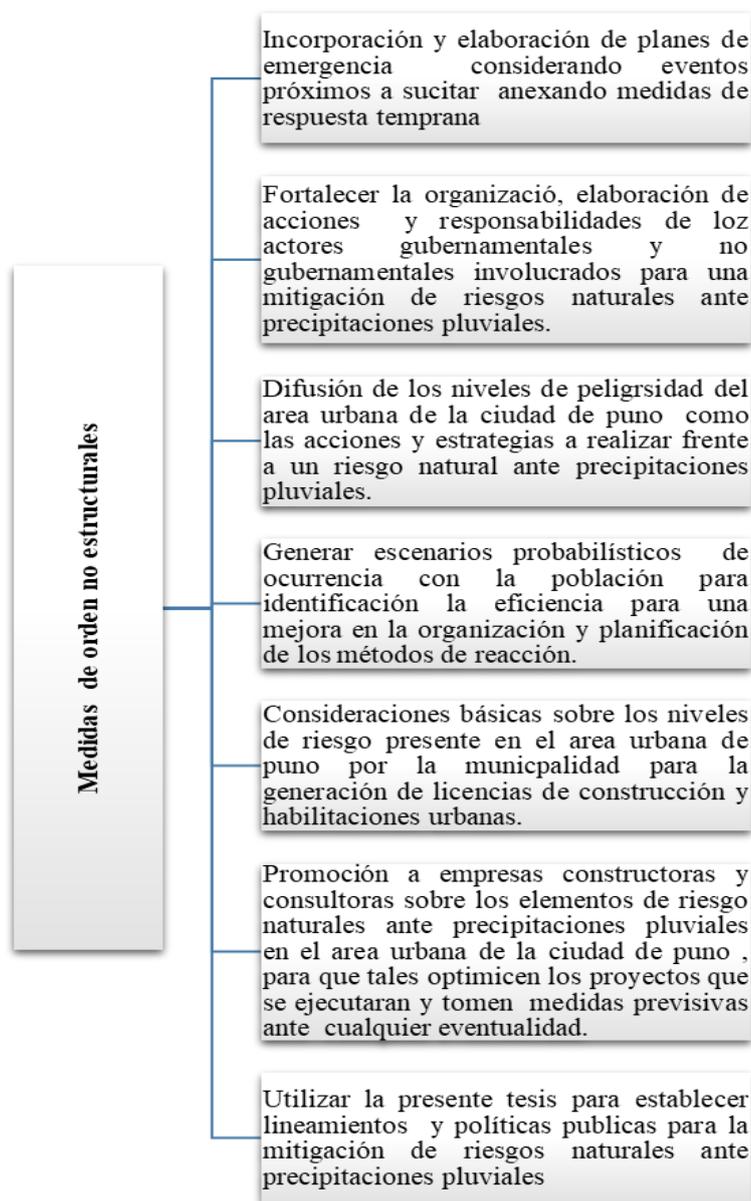


Figura 36. Medidas de control y mitigación de orden no estructural

4.4.2. Medidas de orden estructural

Las medidas estructurales refieren a la e implementación y construcción de estructuras para el control y reducción de impactos de los eventos extraordinarios suscitados en áreas urbanas de la ciudad de Puno ante precipitaciones pluviales, como se detalla en la figura 37.

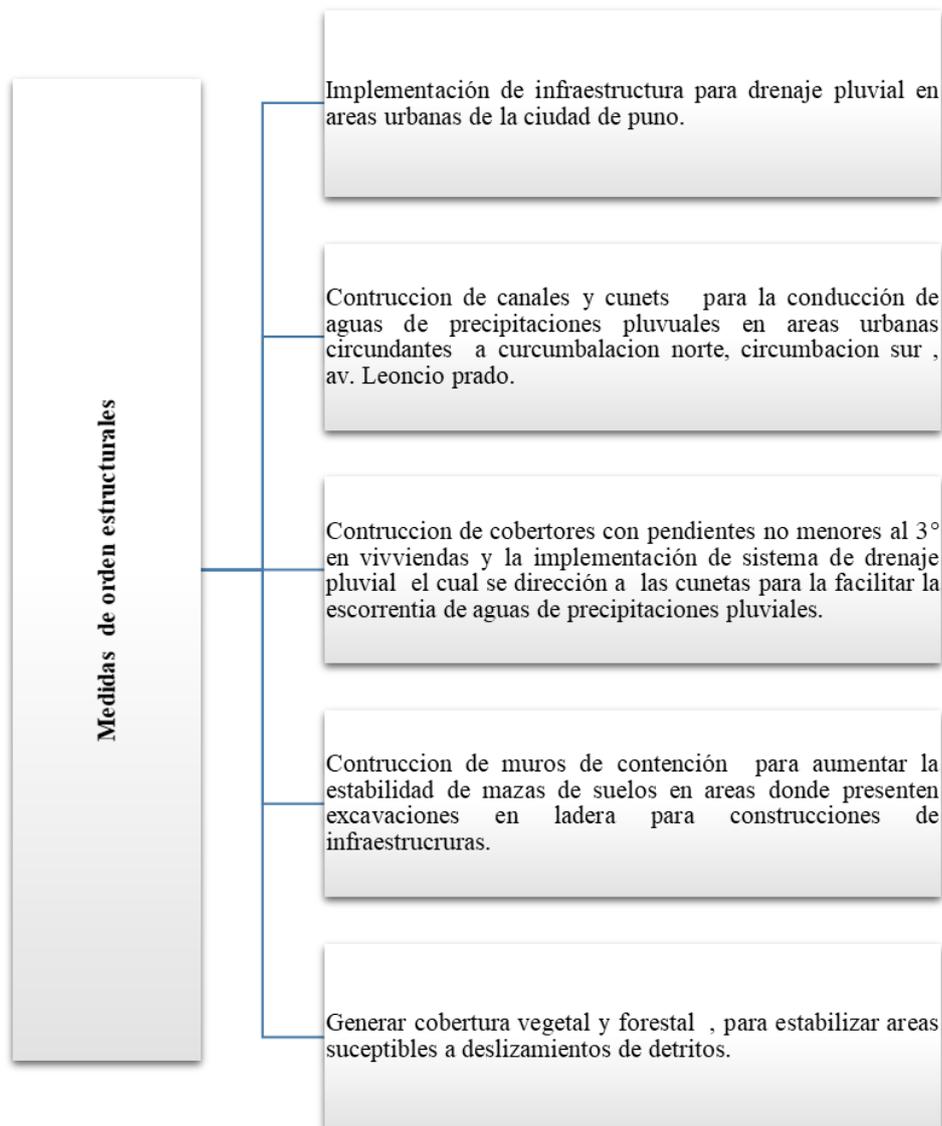


Figura 37. Medidas de control y mitigación de orden estructural

4.4.3. Discusión de los resultados de las medidas de mitigación de los riesgos naturales ante precipitaciones pluviales

Referente al enunciado de medidas de mitigación de los riesgos naturales ante precipitaciones pluviales en el área urbana de la ciudad de Puno, se pudo definir que

las medidas de mitigación de los riesgos naturales ante precipitaciones pluviales son de tipo no estructural y estructural las cuales actúan directamente en el medio físico y en la población involucrada para la toma de decisiones de forma rápida y efectiva ante algún desastre. Esto quiere decir que las medidas de orden no estructural, son medidas de conocimiento práctico que no requieren la construcción de estructuras e involucra directamente a la población para la reducción de susceptibilidades y vulnerabilidades del área urbana de la ciudad de Puno, de la misma manera las medidas de orden estructural refieren la implementación y construcción de estructuras para el control y reducción de impactos de los eventos extraordinarios suscitados en áreas urbanas de la ciudad de Puno ante precipitaciones pluviales. Frente a lo mencionado se acepta la hipótesis número tres donde se refiere que las medidas de mitigación de los riesgos naturales ante precipitaciones pluviales en el área urbana de la ciudad de Puno son de orden estructural y no estructural. Estos resultados guardan relación con lo que sostiene el INGEMMET (2015) en el foro internacional sobre la gestión del riesgo geológico y en el sistema de gestión de riesgos ante eventos asociados a glaciares en Santa Teresa (Cusco), refiere que las medidas no estructurales tienen una importancia muy alta en Santa Teresa. Las medidas más pertinentes incluyen el evitar zonas de amenaza alta o media para construir y la reubicación de viviendas o infraestructura sensible, ubicadas en zonas de alta amenaza. La preparación y respuesta por parte de las autoridades y comunidades son cruciales en el sistema de gestión de riesgos en Santa Teresa mediante un plan de capacitación en gestión comunitaria del riesgo de desastres, el cual además de contribuir al fortalecimiento de capacidades, permite dialogar con los pobladores en temas de preparación y respuesta, de la misma manera La Municipalidad Provincial de Puno (2015) en el plan de desarrollo urbano de la ciudad de Puno refiere que medidas no estructurales para la mitigación de riesgos en el área urbana, son la recuperación de las vías que coinciden con el límite de las microcuencas como vías conectoras verdes que unirán diferentes tramos del cinturón verde potenciando las funciones de la trama vial transversal y la forestación de laderas para revertir los procesos de erosión y relave del suelo hacia la bahía lacustre. De la misma manera Rossi *et al.* (2019) en su investigación, a predictive model of societal landslide risk in Italy. earth-science reviews, concluye que la determinación de los niveles de riesgo y la generación de mapas temáticos contribuyen a mejorar la zonificación de los riesgos por deslizamientos de tierra en Italia, fomentando la

eficacia de los sistemas nacionales y regionales de alerta temprana de deslizamientos de tierra y diseñar e implementar mejores estrategias de comunicación, mitigación y adaptación de deslizamientos de tierra. De manera complementaria Doyle *et al.* (2019) refiere que los modelos numéricos son vitales para la gestión del riesgo, mediante medidas estructurales. Así mismo Barreto (2005), en la estimación de un índice relativo de riesgo múltiple del áreas urbana, sostiene que el análisis espacial y estadístico de los índices generan el mapa de riesgo múltiple, permitiendo conocer la distribución espacial del riesgo múltiple en el área de estudio y la implementación de estrategias de prevención, lo cual concuerda con García (2013) en su tesis denominada, contribución de los SIG al estudio de los riesgos naturales, caso de Haití, donde refiere que a través de estas herramientas no sólo se pone de relieve el posible efecto de un fenómeno, sino que también es posible llevar a cabo los análisis previos al acontecimiento, permitiendo zonificar las áreas potenciales de riesgo. De este modo, si se consigue establecer cuáles son las zonas que tienen mayor probabilidad de sufrir un desastre natural, es más sencillo y efectivo tomar medidas de prevención que eviten estos sucesos o, al menos, reduzcan sus consecuencias, y de manera complementaria el INDECI (2005), en el mapa de peligros de la ciudad de Sicuani y localidad de Qqehu, refiere que la información de las condiciones de peligro naturales geológicos, geotécnicos, hidrológicos y antrópicos, de una zona de manera gráfica, simple y práctica, sirven como herramienta de apoyo para los planificadores, autoridades locales y la población en general, para una eficiente identificación de las áreas de riesgo que no deben ser ocupadas. En tal sentido bajo lo referido anteriormente y al analizar estos resultados confirmamos que la actuación y la toma de decisiones se dará de forma rápida y efectiva ante algún desastre siempre que la estructuración de las medidas de mitigación de tipo no estructural y estructural este formulada de forma realista y concordante con los estudios de peligrosidad y vulnerabilidad.

CONCLUSIONES

- Las características del índice de riesgo natural ante las precipitaciones pluviales está dado por un nivel muy alto de rango de 0.048 a 0.118, el cual tienen un índice de afectación del 52.90% correspondiente a un área superficial de 9.554 km^2 , afectando a 68,729 habitantes; de la misma manera se obtuvo el nivel de riesgo alto de rango de 0.022 a 0.048, el cual tiene un índice de afectación en el 47.10% del área urbana de la ciudad de Puno, cubriendo una superficie de 8.504 km^2 , afectando a 61,193 habitantes.
- Los niveles de peligrosidad identificados son: nivel de peligrosidad muy alto de rangos entre 0.297 a 0.332 con una incidencia del 0.40% del área urbana correspondiente a un área superficial de 0.067 km^2 ; nivel de peligrosidad alto de rangos entre 0.263 a 0.297 con una incidencia del 14% del área urbana correspondiente a un área superficial de 11.823 km^2 ; nivel de peligrosidad media de rangos entre 0.234 a 0.263 con una incidencia del 20.20% del área urbana correspondiente a un área superficial de 3.638 km^2 ; y niveles de peligrosidad bajo de rango entre 0.202 a 0.234 con un área de incidencia del 65.50% correspondiente a un área superficial de 11.82 km^2 , siendo ésta el de mayor presencia en el área urbana de la ciudad de Puno ante precipitaciones pluviales.
- El nivel de vulnerabilidad determinado ante precipitaciones pluviales en el área urbana de la ciudad de Puno es muy alta con un índice de afectación del 100% , abarcando un área superficial de 18.014 km^2 y una población de 129,922 habitantes.
- Las medidas de mitigación formuladas están direccionadas hacia la reducción y eliminación de zonas de riesgo mediante estrategias preventivas de tipo no estructural (medidas de alarma, medidas de ayuda) y de tipo estructural (medidas técnicas y medidas de ordenamiento territorial) las cuales actúan en el medio físico del área urbana de la ciudad de Puno.



RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso metodológico de la presente tesis para otras zonas urbanas de nuestra región a fin de obtener índices de riesgos según sus características propias de la su área geográfica.
- Se recomienda mantener actualizada la base datos del nivel educativo, económicos, social por las entidades correspondientes.
- Se recomienda la elaboración e implementación de un plan de prevención y reducción de riesgos ante precipitaciones pluviales.

BIBLIOGRAFÍA

- Abril, E. G. (2017). Metodología de análisis mediante el uso de información satelital de la estructura y morfología del sector norte del batolito de Achala y su encajonante metamórfico, Sierras Pampeanas de Córdoba. *Serie Correlacion Geologica*, 33(1–2), 85–100, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1666-94792017000200002&lng=es&tlng=es.
- Acuña, A. M. (2016). *Índice de gestión de riesgos (IGR)*. 17–22. Retrieved from <https://silo.tips/download/indice-de-gestion-de-riesgos-igr>
- Barreto, J. R. (2005). *Estimación de un índice relativo de riesgo múltiple en áreas urbanas*.83,<http://www3.uacj.mx/DGDCDC/SP/Documents/Documents/Geoinformatica/Geoinformatica.pdf>.
- Bevacqua, A., Yu, D., & Zhang, Y. (2018). Coastal vulnerability: Evolving concepts in understanding vulnerable people and places. *Environmental Science and Policy*, 82(January), 19–29. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.01.006>
- Cenepred. (2014). Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales. *Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres.*, 1–245. Retrieved from http://www.sigpad.gov.co/sigpad/paginas_detalle.aspx?idp=112
- Chávez, M. M. C. (2016). Evaluación multicriterio de la vulnerabilidad biofísica ante inundaciones en la subcuenca río Atoyac-Oaxaca de Juárez. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(10), 97. <https://doi.org/10.19136/era.a4n10.816>
- Chow., V. Te. (1994). Applied Hydrology International ed., McGraw Hill Higher Education. *McGraw Hill Higher Education.*, 1, 390, http://ponce.sdsu.edu/Applied_Hydrology_Chow_1988.pdf.
- da Silva, B. A., Giongo, P. R., Martins, P. T. de A., Barbosa, T. A., Moraes, V. H., Cavalcante, T. J., & Giongo, A. M. M. (2019). Soil erosion vulnerability in the southern part of the meia ponte watershed, Goias, Brazil. *Idesia*, 37(2), 81–86. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292019000200081>
- Dallimer, M., Martin-Ortega, J., Rendon, O., Afionis, S., Bark, R., Gordon, I. J., &

- Paavola, J. (2020). Taking stock of the empirical evidence on the insurance value of ecosystems. *Ecological Economics*, 167(August 2019). <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106451>
- Doyle, E. E. H., Johnston, D. M., Smith, R., & Paton, D. (2019). Communicating model uncertainty for natural hazards: A qualitative systematic thematic review. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 33(May 2018), 449–476. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.10.023>
- Duque, L. A. M. (2017). *La percepción del riesgo geológico*. 22–28, Pensamiento Psicológico, Vol 15, No 2, 2017, pp. 79-92 doi:10.11144/Javerianacali.PPSI15-2.pral.
- Edeso, J. M. (2008). *Riesgos naturales geológicos y geomorfológicos*. 31(2008) Lurralde: Investigación y espacio, ISSN 0211-5891, N° 31, 2008, págs. 325-374, <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2750913>.
- Evans, C. Q., & Zechmeister, E. J. (2018). *La educación y la valoración del riesgo predicen la preocupación por el cambio climático en América Latina y el Caribe*. (2017). Retrieved from www.lapopsurveys.com
- Fernández, J. M., Bértola, G. R., & Campo, A. M. (2017). Aplicación del Índice de vulnerabilidad costera (CVI) a los barrios costeros del partido de MAR chiquita, Buenos Aires, Argentina. *Geoacta (Argentina)*, 42(1), 13–23, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S185277442017000100002&lng=es&tlng=es..
- Galvez, B. E. A. G. (1997). *Caracterización, evaluación y análisis del comportamiento de la calidad del recurso hídrico superficial del biotopo del manatí, río dulce, Izabal*, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684-8242017000500002&lng=es&tlng=es..
- Gaspari, F. J., Vagaría, ; A.M. Rodriguez, , M.I. delgado, ; G.E. Senisterra, & Denegri, ; G.A. (2011). *Vulnerabilidad ambiental en cuencas hidrográficas serranas mediante SIG*. 3–13, <https://www.redalyc.org/pdf/428/42824203001.pdf>.
- Gobierno Regional Puno. (2015). *Zonificación ecológica y económica del departamento de Puno*, <http://siar.minam.gob.pe/puno/documentos/zonificacion-ecologica->

- economica-departamento-puno-resumen-ejecutivo, de
https://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/Archivos/Documentos/Doc_zee_puno.pdf.
- Guaman, G. A. (2012). *Aplicacion de SIG para el manejo de riesgos naturales en el area urbano de la ciudad de Loja*, de <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/1997>.
- Hanco, C. A. B. (2018). *Evaluación de Peligros Geológico en el distrito de Punta Hermosa*, de <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2232>.
- Henríquez, C., Aspee, N., & Quense, J. (2016). Zonas de catástrofe por eventos hidrometeorológicos en Chile y aportes para un índice de riesgo climático. *Revista de Geografía Norte Grande*, 44(63), 27–44. <https://doi.org/10.4067/s0718-34022016000100003>.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2010). *Metodología de la investigación* (5ta ed.). México: Mc Graw Hill Interamericana Editores, S.A., <http://repositorio.uasb.edu.bo/handle/54000/1210>.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (5ta edición). México: McGRAW-HILL/ Interamericana Editores, S.A. de C.V., <https://books.google.com.pe/books?id=5A2QDwAAQBAJ&dq=metodolog%C3%ADa+de+la+investigaci%C3%B3n+sampieri&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjim4mfrdT4AhW8ILkGHVYzAfiQ6AF6BAgKEAI>.
- INDECI. (2003). *Plan de prevencion ante desastres: usos del suelo y medidas de mitigacion ciudad de Chiclayo*, de <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/3093>.
- INDECI. (2010). *Mapa de peligros de la ciudad de Puerto Maldonado*, de http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios_CS/Region_Madre_de_Dios/tambopata/puertomaldonado.pdf.
- INDECI. (2014). *Plan de acciones en gestión del riesgo de desastres priorizadas para el periodo 2015-2016*. 111., de <https://dimse.cenepred.gob.pe/simse/cenepred/docs/PLANAGERD-2014-2021.pdf>.
- INDECI. (2006). *Manual Básico para la estimación del riesgo* (Vol. 33). Instituto

- Superior de Correlación de Geológica,
http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc319/doc319_contenido.pdf.
- INGEMMET. (2011). Memoria sobre la geología económica de la región puno. *Dirección de recursos minerales y energéticos programa de metalogenia proyecto Ge 33, 35, 50*. Retrieved from https://www.ingemmet.gob.pe/documents/73138/468768/2011_GE33_Memoria_Geologia_Economica_Cusco.pdf/d22a2f42-0b5b-42e5-8fe5-9fb6e737d8f2
- INGEMMET. (2015). Reduciendo riesgos para el desarrollo sostenible. *Foro internacional sobre la gestión del riesgo geológico*, <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/1301>.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). *Compendio Estadístico Puno 2017*. 464. Retrieved from https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1506/libro.pdf
- Isidro, M. L., Díez-Herrero, A., & Huerta, L. L. (2009). Aplicaciones de los SIG al análisis y gestión del riesgo de inundaciones: avances recientes. *Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 37(29), 29–37. Retrieved from http://transit.gencat.cat/web/.content/documents/seguretat_viaria/pesv_2014_2020.pdf%5Cnhttp://interior.gencat.cat/web/.content/home/010_el_departament/plans_i_actuacions/pla_general_de_seguretat_de_catalunya/docs/pla_seguretat_catalunya.pdf%5Cnhttp://int
- Jaramillo, G. A. G. (2012). *Aplicación de sig para el manejo de riesgos naturales en el área urbano de la ciudad de Loja*, de <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/1997>.
- Liu, W., & Song, Z. (2020). Review of studies on the resilience of urban critical infrastructure networks. *Reliability Engineering and System Safety*, 193(August 2019), 106617. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.106617>
- Llorente, M. (2009). Riesgos geológicos: técnicas de análisis y mitigación. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 12(12.1), 2–15.
- López, L., Vázquez, S., Mendoza, L., Rosquillas, A., Frías, A. M. (RADIUS), &

- Castro., H. A. (2002). Diagnostico de riesgos urbanos en el área Metropolitana de Tijuana. *Dirección Municipal de Protección Civil*, 118. Retrieved from <http://www.proteccioncivil.tijuana.gob.mx/pdf/planes/estudios/Diagnostico de Riesgos Urbanos en el area Metropolitana de Tijuana.pdf>
- Martínez, L. G. (2013). *Contribución de los SIG al estudio de los riesgos naturales. El caso de Haití*. 43, de URI: <http://hdl.handle.net/10902/2837>.
- Mata, R. (2000). *El salvador, el "pais de las hamacas". los riesgos geologicos: el ejemplo de los grandes deslizamientos*. 2000, 261–269, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2897576>.
- Mejía, J. B. M. (2014). Análisis de la vulnerabilidad biofísica a los riesgos por inundación en la Zona Metropolitana de Toluca, México. *Luna Azul*, (38), 86–104. <https://doi.org/10.17151/luaz.2014.38.5>
- Mena, F. C. (2013). Geología urbana y procesos de zonificación territorial en la ciudad de Tacna. *Tesis*, 1–13, <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/1933>.
- Monje, C. (2011). *Metodologia de la investigacion cualitativa y cuantitativa. Guia Didáctica*. Colombia: Neiva, <https://biblioteca.usco.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=23967>.
- Municipalidad provincial de Puno. (2015). Plan de desarrollo urbano de la ciudad de Puno. *Municipalidad Provincial de Puno*, 1–183. Retrieved from <http://ras.municipiochihuahua.gob.mx/%0Ahttp://www.munibellavistasm.gob.pe/portal/pdu/pdu.html>
- Municipalidad Provincial de Puno. (2011). *Plan de desarrollo provincial concertado 2011-2021*, de https://www.regionpuno.gob.pe/descargas/presupuestoparticipativo/consolidado_plan_concertado_2021.pdf.
- Municipalidad Provincial de Puno. (2017). *Plan de desarrollo concertado actualizado de la provincia de puno al 2021 con proyección al 2030*, de <https://portal.munipuno.gob.pe/index.php/es/ordenanzas-municipales>.
- Pascual, maria margarita zango. (2003). *la gestion integral de los riesgos naturales en el*

- marco de los derechos humanos de tercera generacion. el caso de los efectos inducidos por la sismicidad en el salvador(centroamerica).* (Mm), 1–18, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=173219>.
- Romo, M. de L. (1996). *Riesgos naturales y vulnerabilidad social en Tijuana, B.C.* 1–155, de <https://www.colef.mx/posgrado/tesis/94258/>.
- Rossi, M., Guzzetti, F., Salvati, P., Donnini, M., Napolitano, E., & Bianchi, C. (2019). A predictive model of societal landslide risk in Italy. *Earth-Science Reviews*, 196(April), 102849. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.04.021>
- Saaty, R. W. (1987). *The analytic hierarchy process*, [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8).
- Saavedra, C., & Mannaerts, C. (2003). Evaluación y monitoreo de modelos de erosión y sedimentación a escala regional usando sensores remotos y SIG. Caso de estudio en la región Andina, Cochabamba, Bolivia. *3 Ra Conferencia Latinoamericana Sobre Manejo de Cuencas: “Desarrollo Sostenible En Cuencas*, de http://www.itc.nl/library/Papers_2003/non_peer_conf/saavedra_eva.pdf.
- Senticala, N. L. S. (2013). Análisis de susceptibilidad a los peligros geológicos por movimientos en masa - poblados de Pampamarca y Acobamba, región Huánuco. *Tesis*, 1–13, de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2969>.
- Sepúlveda, A. (2016). Metodología para evaluación de riesgo por flujo de detritos detonados por lluvia: caso Útica, Cundinamarca, Colombia. *Obras y Proyectos*, (20), 31–43. <https://doi.org/10.4067/s0718-28132016000200003>
- Shalih, O., Setiadi, H., Nurlambang, T., & Sumadio, W. (2020). Toward a community resilience framework for disaster risk management. a case study: Landslide Cisolak in Sukabumi 2018 and Sunda strait tsunami in Pandeglang 2018. *E3S Web of Conferences*, 156. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015601011>
- SINAGERD. (2011). *Ley del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres*. 25, de <https://www.gob.pe/institucion/indeci/informes-publicaciones/2370524-ley-n-29664-ley-del-sistema-nacional-de-gestion-del-riesgo-de-desastres-sinagerd>.
- SINAGERD. (2014). *Plan Nacional de Gestion del Riesgo de Deastres PLANAGERD*



- 2014 - 2021. 63. Retrieved from
[http://www.cenepred.gob.pe/web/download/PLANAGERD 2014-2021.pdf](http://www.cenepred.gob.pe/web/download/PLANAGERD%202014-2021.pdf)
- Tello, A. N. (1995). *Riesgos Geologicos* (p. 51). p. 51, de
<https://www.eird.org/deslizamientos/pdf/spa/doc985/doc985-contenido.pdf>.
- Terzi, S., Torresan, S., Schneiderbauer, S., Critto, A., Zebisch, M., & Marcomini, A. (2019). Multi-risk assessment in mountain regions: A review of modelling approaches for climate change adaptation. *Journal of Environmental Management*, 232(November 2018), 759–771. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.100>
- Tlatempa, G. E. (2015). Criterios geológico-hidrológicos para recomendaciones del uso de suelo en zonas conurbadas sujetas a afectaciones por lluvias intensas. Caso de estudio: sur de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Investigaciones Geográficas*, 2013(80), 36. <https://doi.org/10.14350/rig.36397>
- Valenzuela, G. (2003). “ *La Geología Ambiental En La Zonificación De Amenazas Naturales*, de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/606> . ”

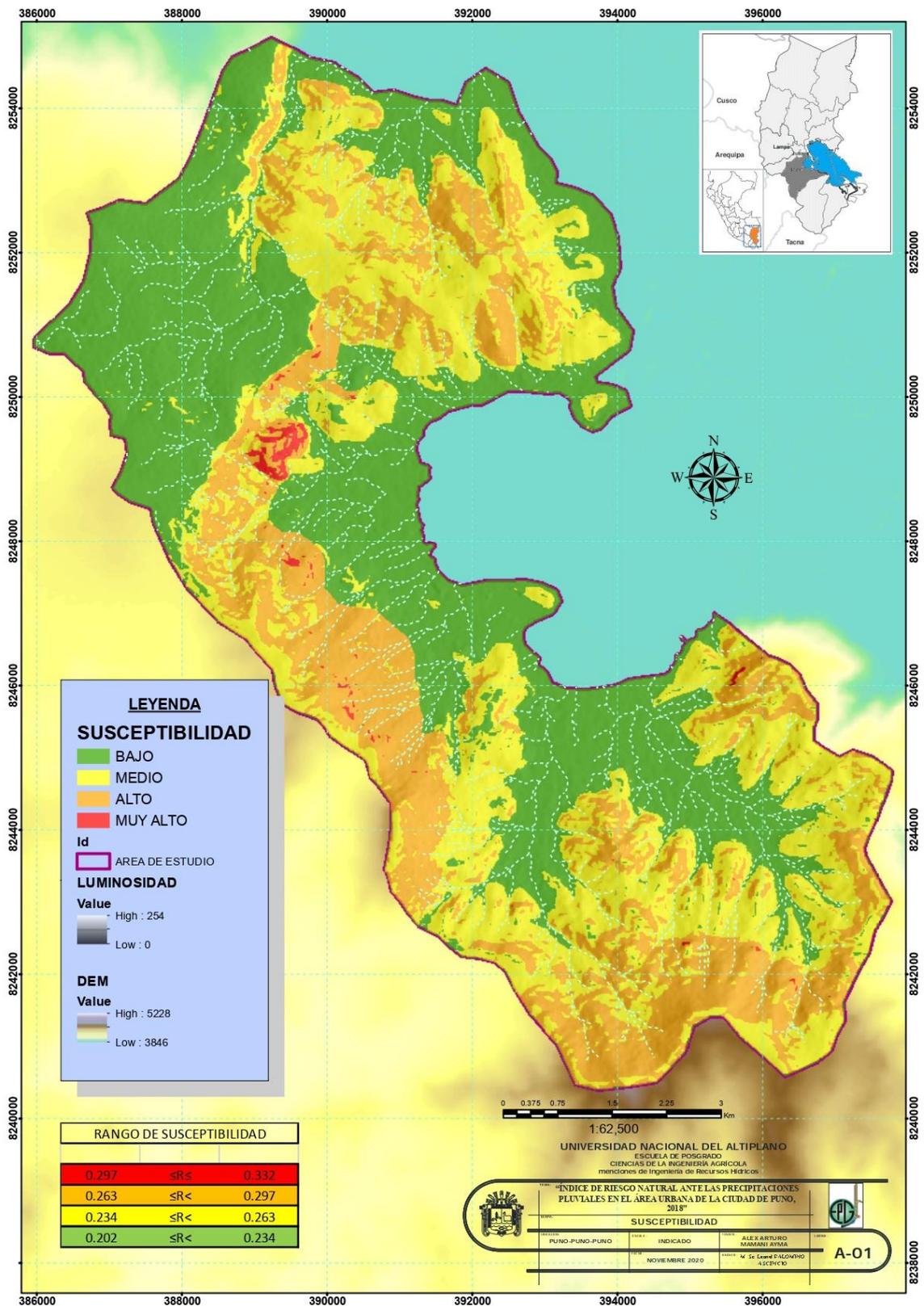
ANEXO

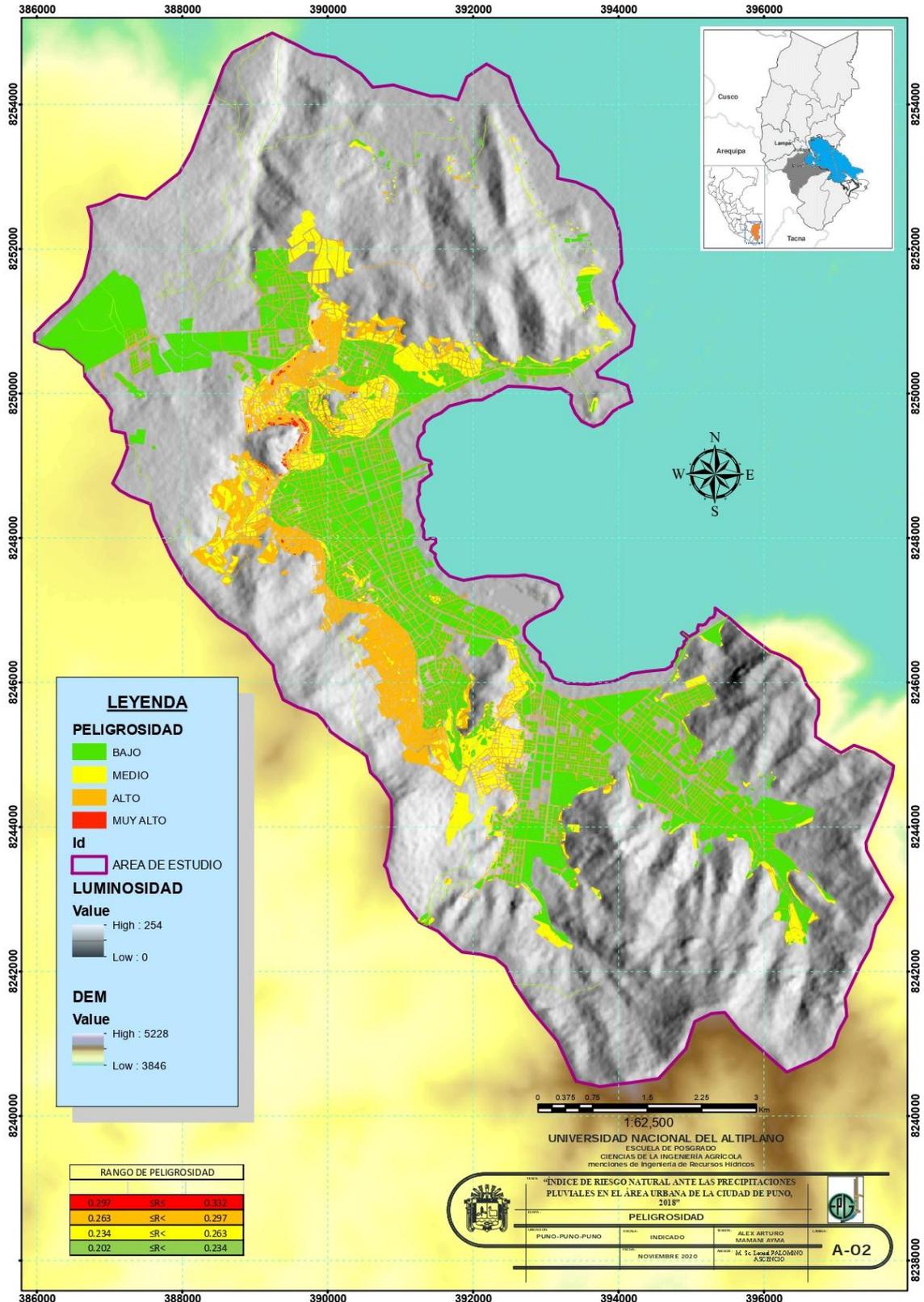
Anexo 1. Precipitaciones máximas registrado por la estación pluviométrica Puno

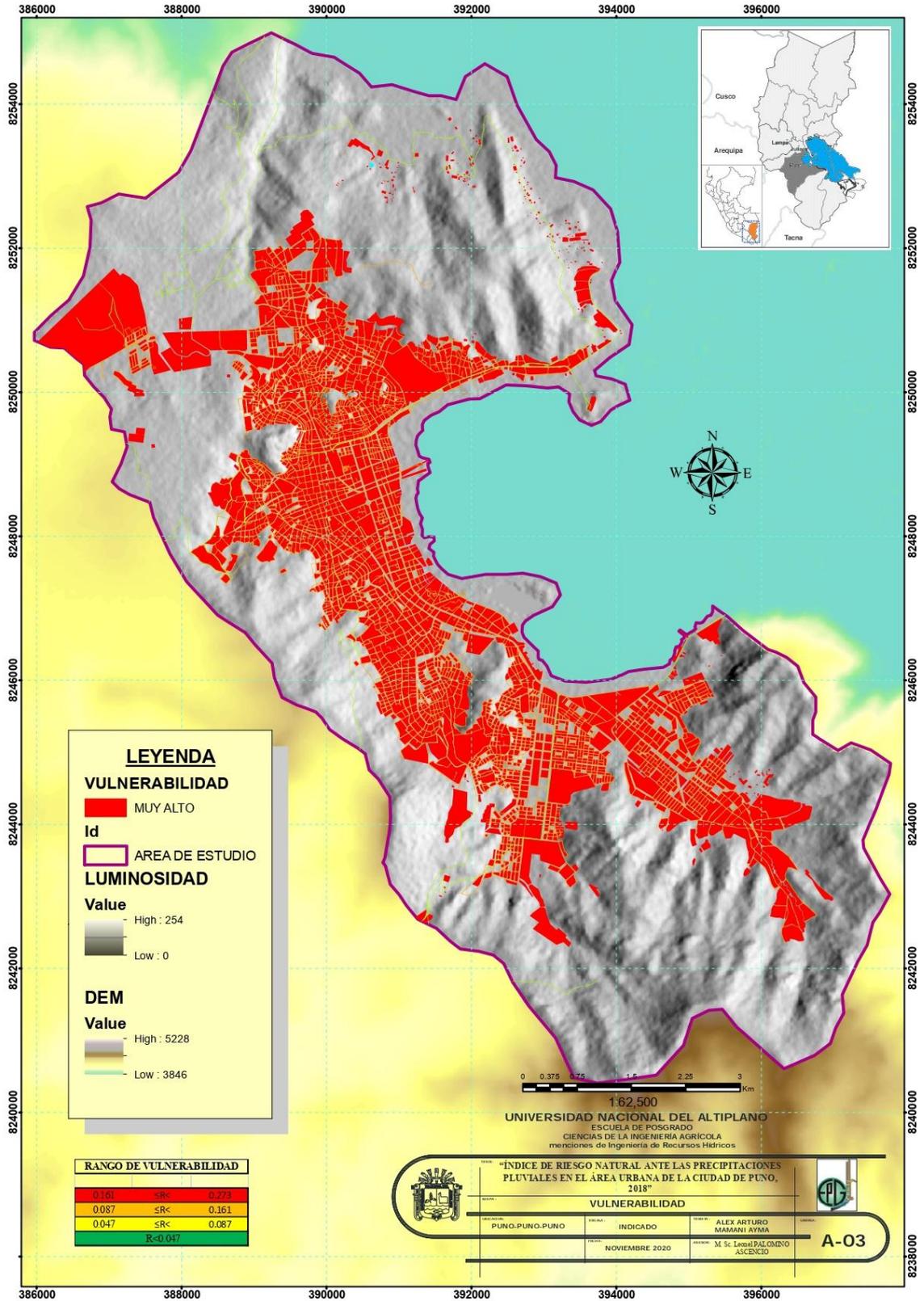
Data de la estación pluviométrica													
Codigoestacion	Estación	Latitud	Longitud	Altitud	Tipo1			Tipo2			Cuenca	Rio	
708	Puno	-15.8233	-70.0181	3812	Convencional			Climática			Intercuenca 0173		
PRECIPITACIONES MAXIMAS													
AÑO	Máx. de VALOR - Mes												Total general
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	
1964	0	39.7	20.2	24	6.7	0	0	3.7	8.4	5	15.4	12.8	39.7
1965	23.2	33.3	7	6.8	0.8	0	0.5	4.2	16.2	5.3	21.8	0	33.3
1966	12.3	18.2	46	4.7	10.5	0	0.5		0.4	10.6	17	7.1	46
1967	18	12.3	33.2	5	4	0	5	20.6	16.8	13	2.5	17.7	33.2
1968	21.6	17.2	17.2	21.1	5.7	8.6	3.7	2	11.4	15.6	10	13.2	21.6
1969	16.1	18.8	14.3	6.4	0	0.2	2.3	0.9	1.6	17.7	27	16.4	27
1970	13	9.9	31.7	7	3.8	0	0	0.9	2.1	7.8	9	13.2	31.7
1971	19.4	35.2	15.5	6.3	0	1.4	0	7.7	1.2	7	40.4	19.8	40.4
1972	25.4	36.8	33.2	15.5	5.5	0	0	0	13.9	5.5	25.6	24.8	36.8
1973	24.5	24	38.7	22.4	6.2	0	1.5	4.8	8.6	3.8	7.5	13.4	38.7
1974	34.6	35.3	15.2	11.2	0.1	1.5	0.2	8.5	8.1	4.9	10	11.2	35.3
1975	22.2	21.9	24.9	14.5	10.3	0.7	0.1	6.5	14.9	13.4	8.8	26.1	26.1
1976	32.6	30	21.4	13.3	4.6	0.2	0.8	6.6	6.4	8.6	3.5	27.2	32.6
1977	25.8	35.9	30.7	2.5	8.8	0	2.3	0	17.7	12.6	12.3	29.6	35.9
1978	34.5	30.1	22.7	3.8	0.4	0	2.7	0.2	10.2	22.4	14.3	24.4	34.5
1979	26.3	8.1	16.6	14.1	1.4	0	0.5	1.2	7.4	12.2	6.5	11	26.3
1980	18.2	15.4	24.4	13.4	0.9	0.1	2.2	5.1	14.8	14.5	12.2	13.4	24.4
1981	20.6	27	16.5	21.1	4.7	0	0	21	5	5.9	21.5	21.8	27
1982	40.3	22.4	17.2	19.9	3.9	1.4	3.8	0	15	23.3	19.5	7	40.3
1983	6.9	16.7	18.8	13.7	9	2.1	1.5	2.7	19.7	10	13.5	38.6	38.6
1984	29.9	23.6	23.2	8.3	4.2	7.5	3.7	8.6	0	68.4	23.5	25.9	68.4
1985	36.8	30.3	16.9	16.9	10.9	8.8	0	7	20.7	8	14.3	17.3	36.8
1986	20.7	38.7	27.1	14.1	3.1	0	5.1	3.3	8.8	1.7	1.9	15.9	38.7
1987	55.7	17.9	17.6	21.4	0.6	1.1	3.4	0	2.5	11.4	24.6	9.6	55.7
1988	30.6	13.1	22	23.7	13.9	0	0.3	0	7.4	17.2	31.4	18.9	31.4
1989	18.4	12.8	21.4	24.4	0	0.2	1.5	12.3	7.3	6	7	10.4	24.4
1990	15.2	5.1	12.1	12.6	5.3	16	0	4.2	7.2	19.5	13.6	13.2	19.5
1991	14.2	17.6	22	13	4.8	15.4	0	2.2	7.2	5.6	11.5	14.1	22
1992	9	11.9	9.9	20.2	0	0	2.3	34	0	7.2	9.5	11.1	34
1993	19.8	46.1	24.9	15.8	5.7	1.1	0	13.1	8	14	26	26.8	46.1
1994	25.1	27.3	24.2	15.6	29.9	0.4	0	0	9.7	17.9	15.2	9.5	29.9
1995	19.4	18.6	15.6	2	3.8	0	0	3	10.3	6	10.3	25.4	25.4
1996	36.9	34.6	16.8	20.4	0	0	2.7	4.4	0.8	8.6	18.2	18.6	36.9
1997	29.1	32.4	23.2	19.5	0.9	0	0	8.8	18.4	12.8	9.2	9.7	32.4
1998	42.9	16.1	24.1	8.8	0	4.9	0	4.3	4.5	13	10.6	14.7	42.9
1999	36.1	27.5	36	33.5	7.5	0	0	1.5	3	38.2	7.8	8.6	38.2
2000	19	31.6	13.5	14.9	0.4	1.4	3.1	6	4.4	27.5	6.6	14.1	31.6
2001	22.1	29.5	36.8	15.8	8.4	2.2	0	7	6.9	9.6	23	23.3	36.8
2002	33.1	19.9	22.8	18.7	12	9.6	10.2	14.3	4.2	17.1	7.7	22	33.1
2003	32.6	23.2	12.1	21.6	14.7	4.8	0.2	4	14.2	11.1	2.9	21.2	32.6
2004	27.8	16.4	26.4	9.2	5.4	0	3.2	20.3	12	2.1		13	27.8
2005	30.1	20	26.8	16.9	0.4	0	0	0	2	11	24.4	17.6	30.1
2006	40.4	10.2	28.7	13	3.4	0.9	0	0.6	11	8.8	15.3	27.8	40.4
2007	20.6	22	67.2	15.7	7.2	0	2.9	1.6	13.5	40.2	8.6	11.4	67.2
2008	38.5	16.2	18	2.7	6.2	1.4	0.2	0.8	1.3	23.4	8.4	16.6	38.5
2009	16	15.4	40.2	16.2	0.4	0	1.8	0	5.2	18.4	17.5	9.8	40.2
2010	15.2	78.2	12.4	3.2	7.2	0	0	5.2	1.9	7.4	4.6	13.8	78.2
2011	25.4	21.8	14.8	12.6	2.6	0	5.3	0.2	16.8	15.6	13.2	16	25.4
2012	28.7	31.4	25.7	10.6	0	0.2	0	5.6	5.4	4.5	44.4	18.4	44.4
2013	12.7	28.7	32.6	7.8	7.8	4	0.6	4.2	5.6	11.3	24.3	27	32.6
2014	22.3	28	25.8	9.8	0.1	0	0.2	9.6	15.8	10.3	17.8	16	28
2015	10.9	23.8	21.6	19	0.2	0	1.8	1.8	20.4	13.4	6.1	10.8	23.8
2016	15.2	30	8	11.8	0.5	2	2.5	0	0.2	26.3	14.8	18.4	30
2017	34.6	25.6	20.8	11.6	5.9	0	1.6	0	13.2	21.6	7.5	25	34.6
2018	36.3	16.4	21.1	18.8	0	0	0	0	0	0	0	0	36.3
Total general	55.7	78.2	67.2	33.5	29.9	16	10.2	34	20.7	68.4	44.4	38.6	78.2

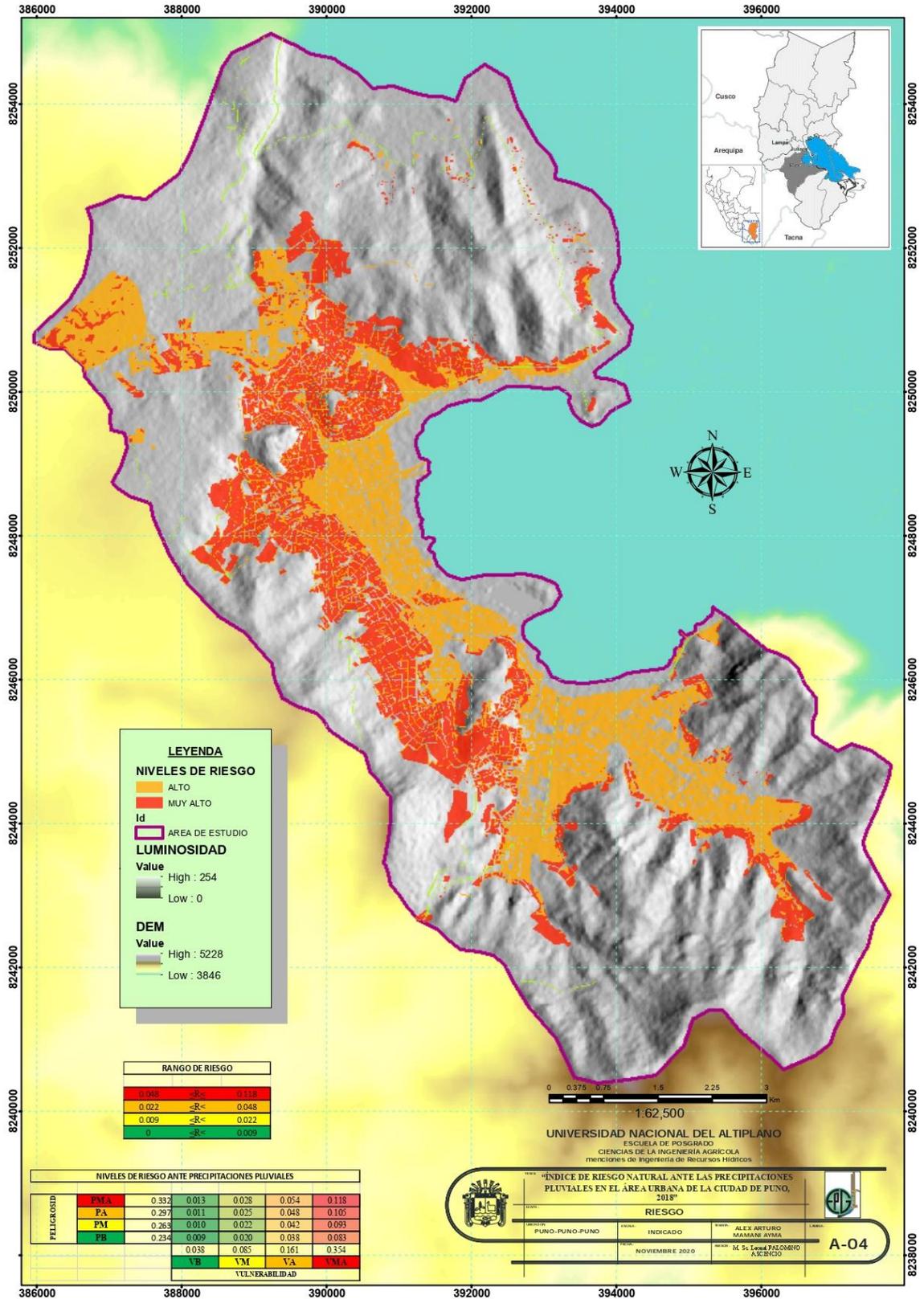
Fuente: (Senamhi, 2019)

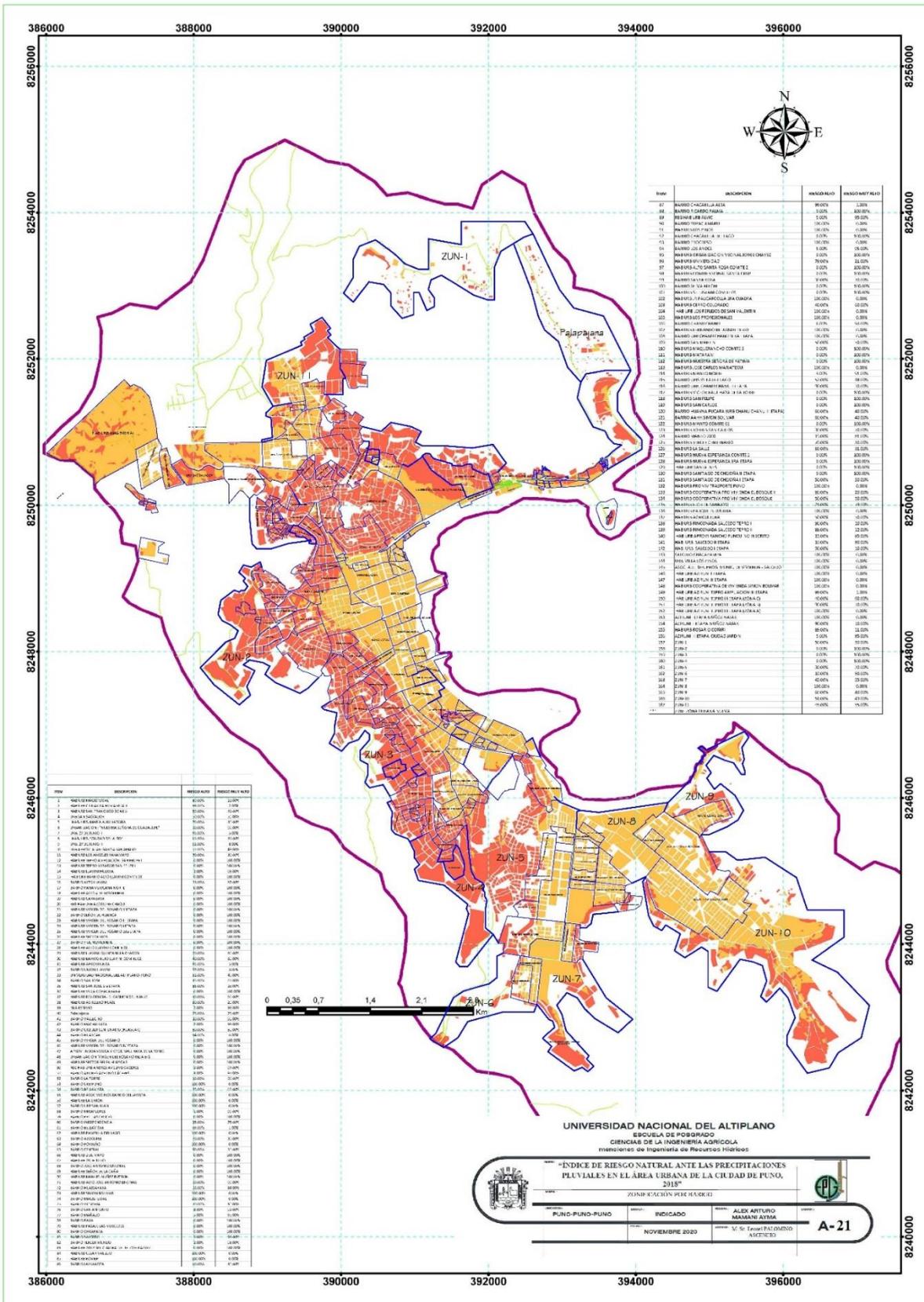
Anexo 2. Mapas temáticos del área urbana de la ciudad de Puno.

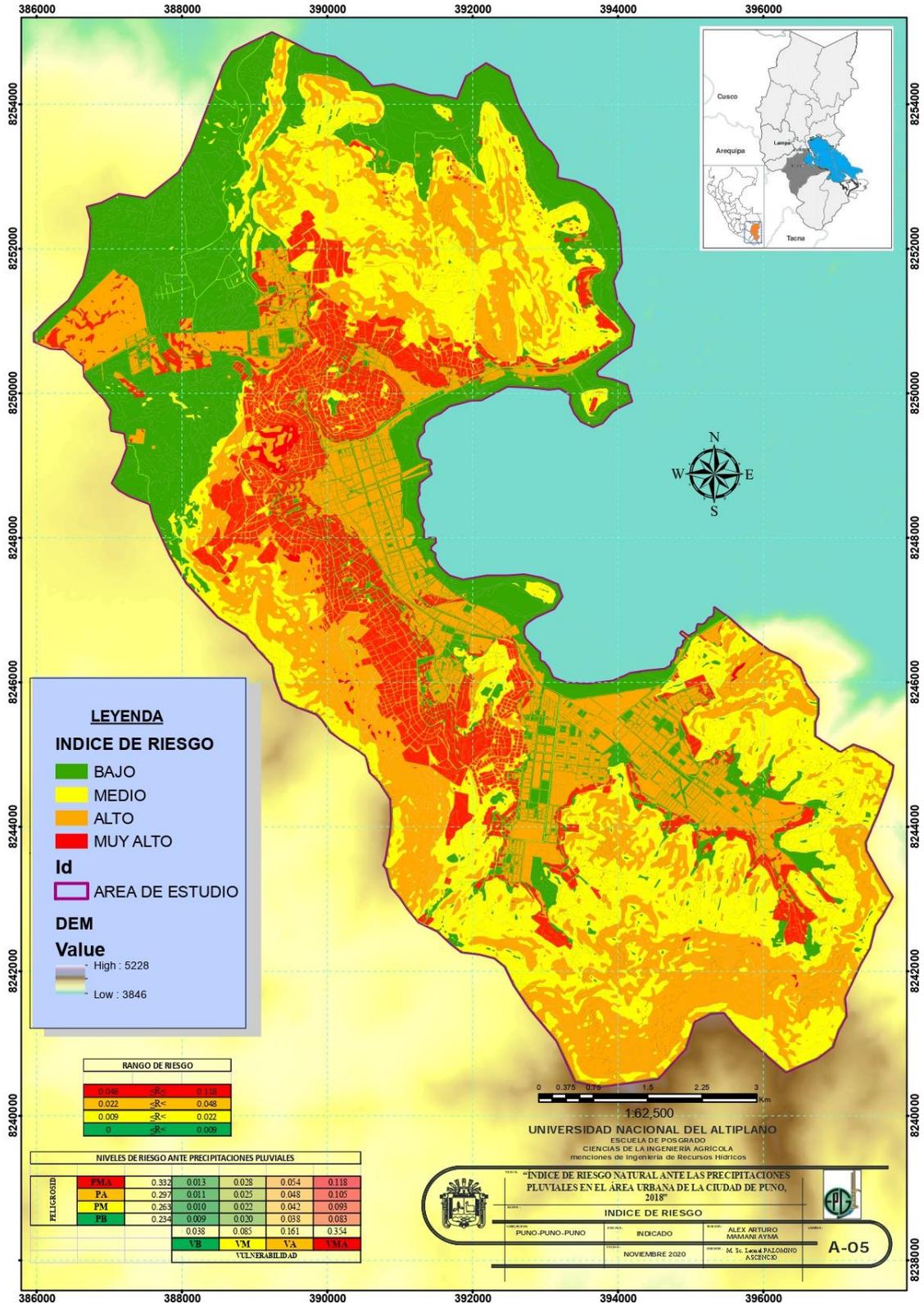


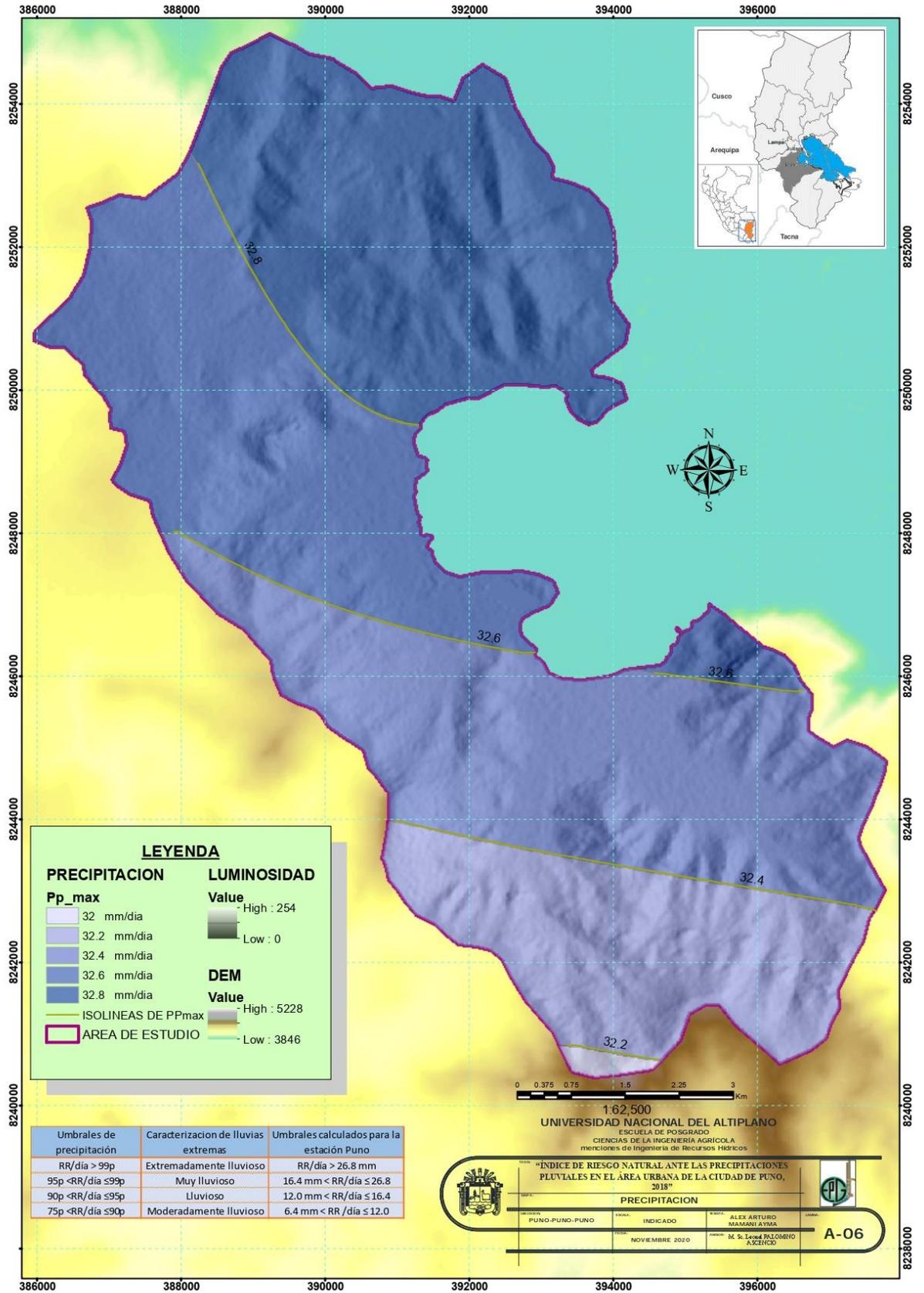


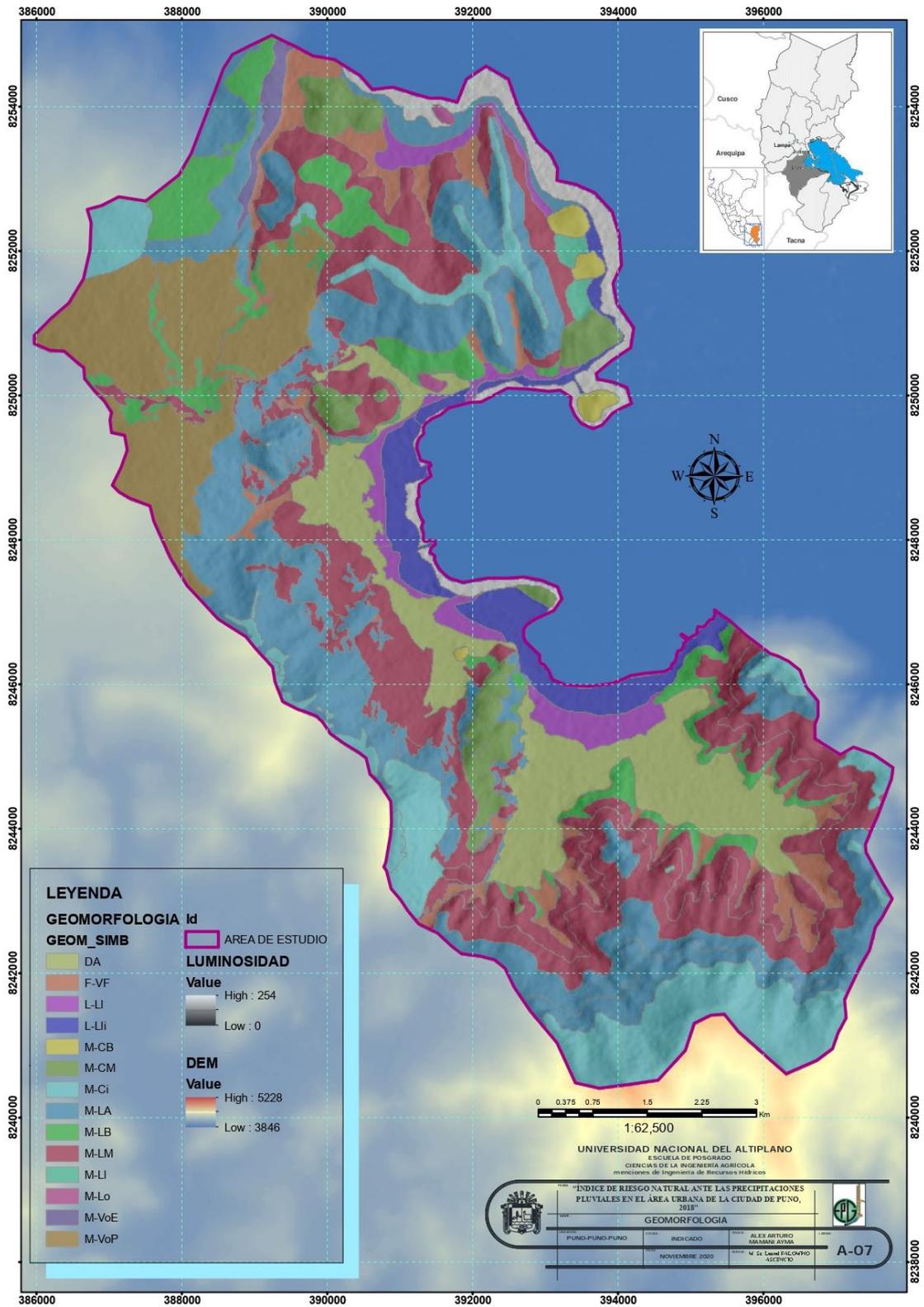


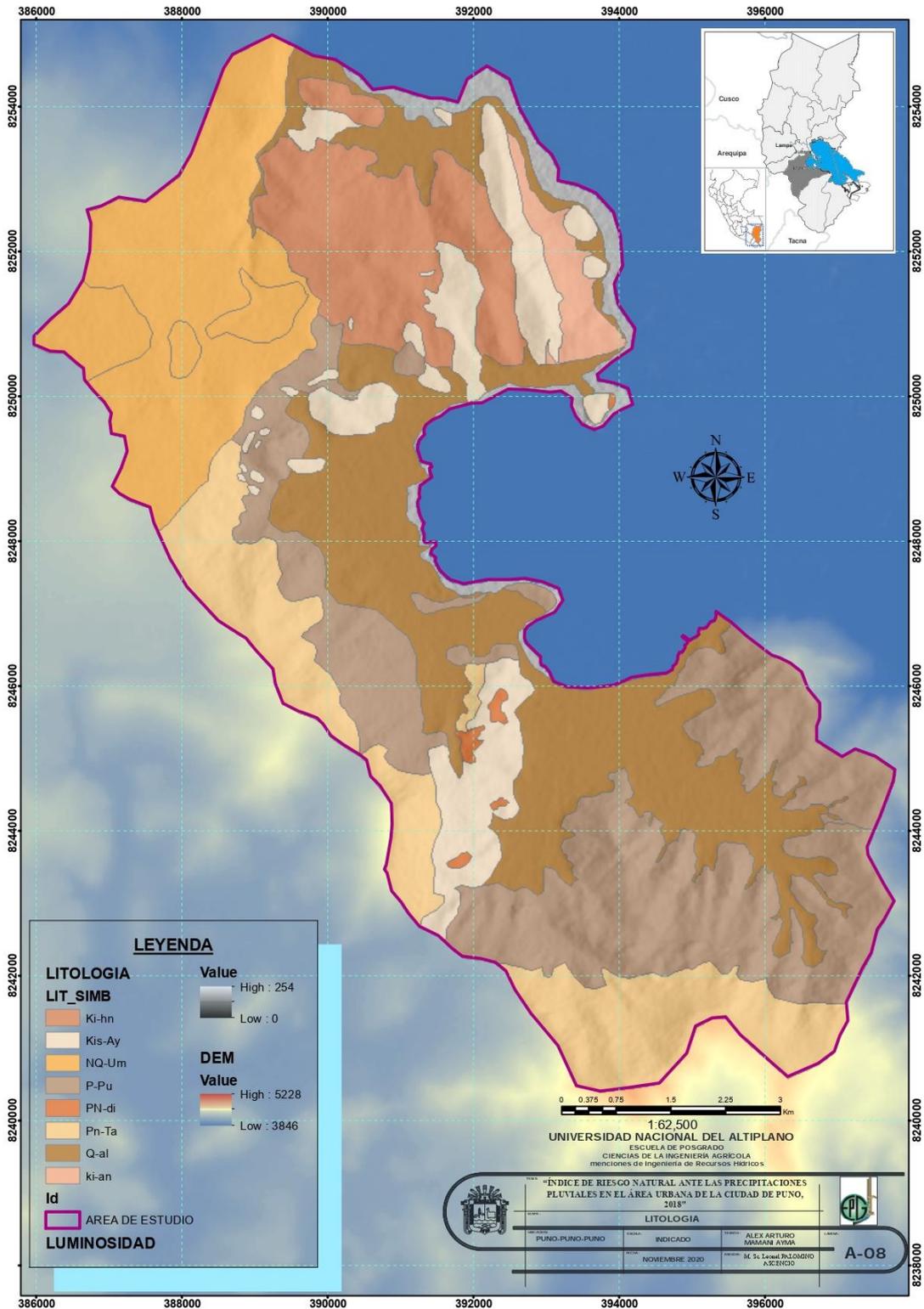


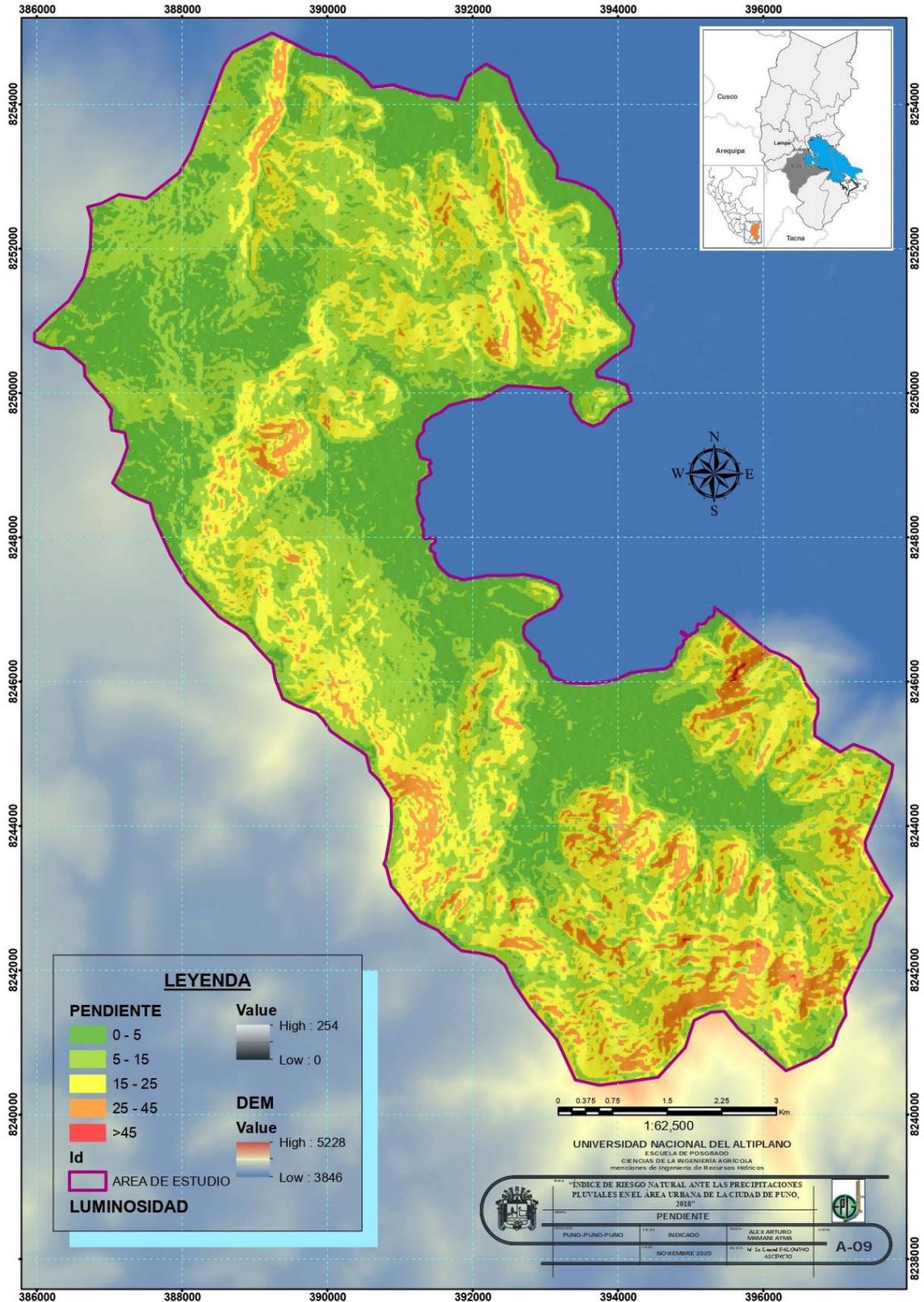


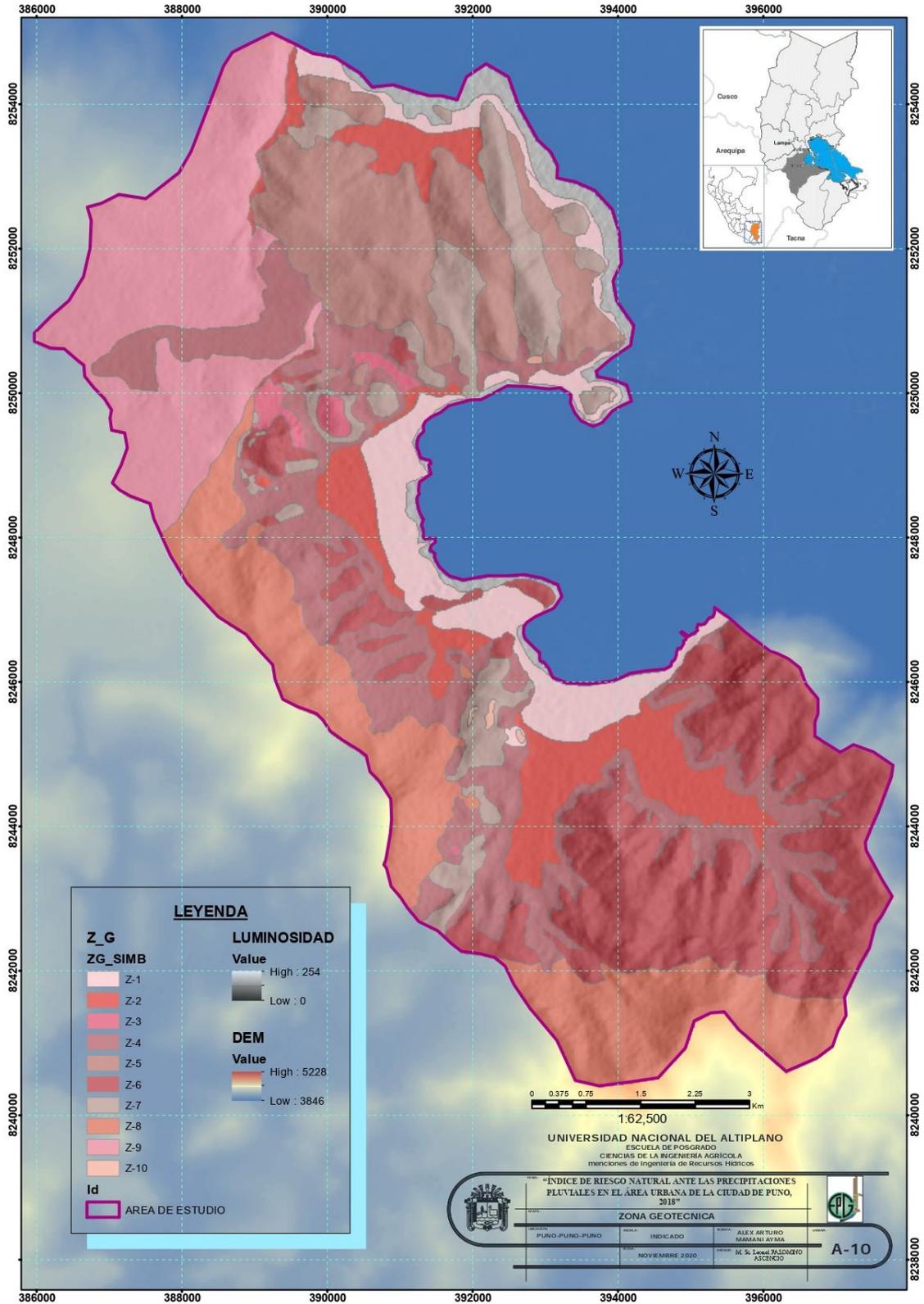


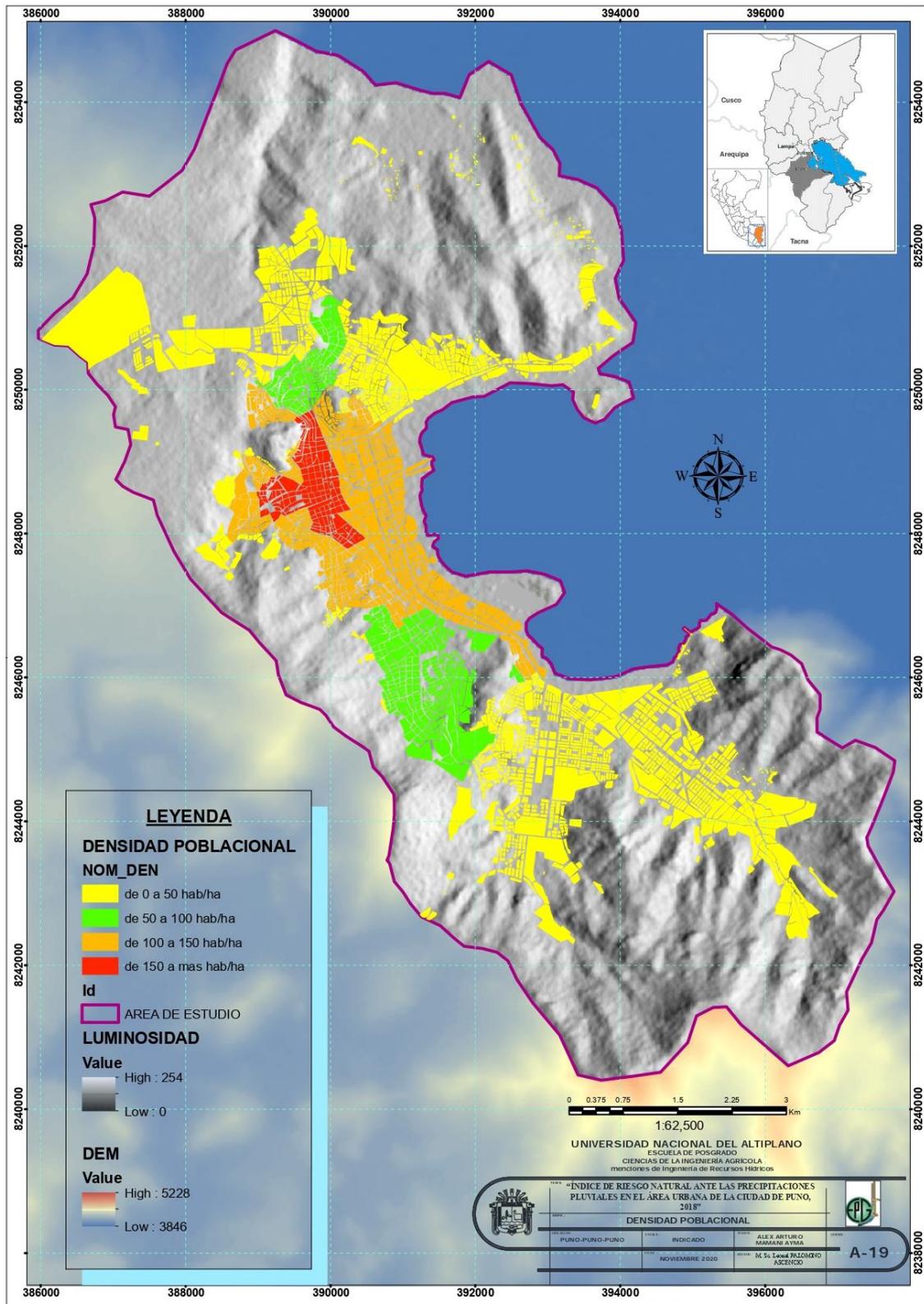


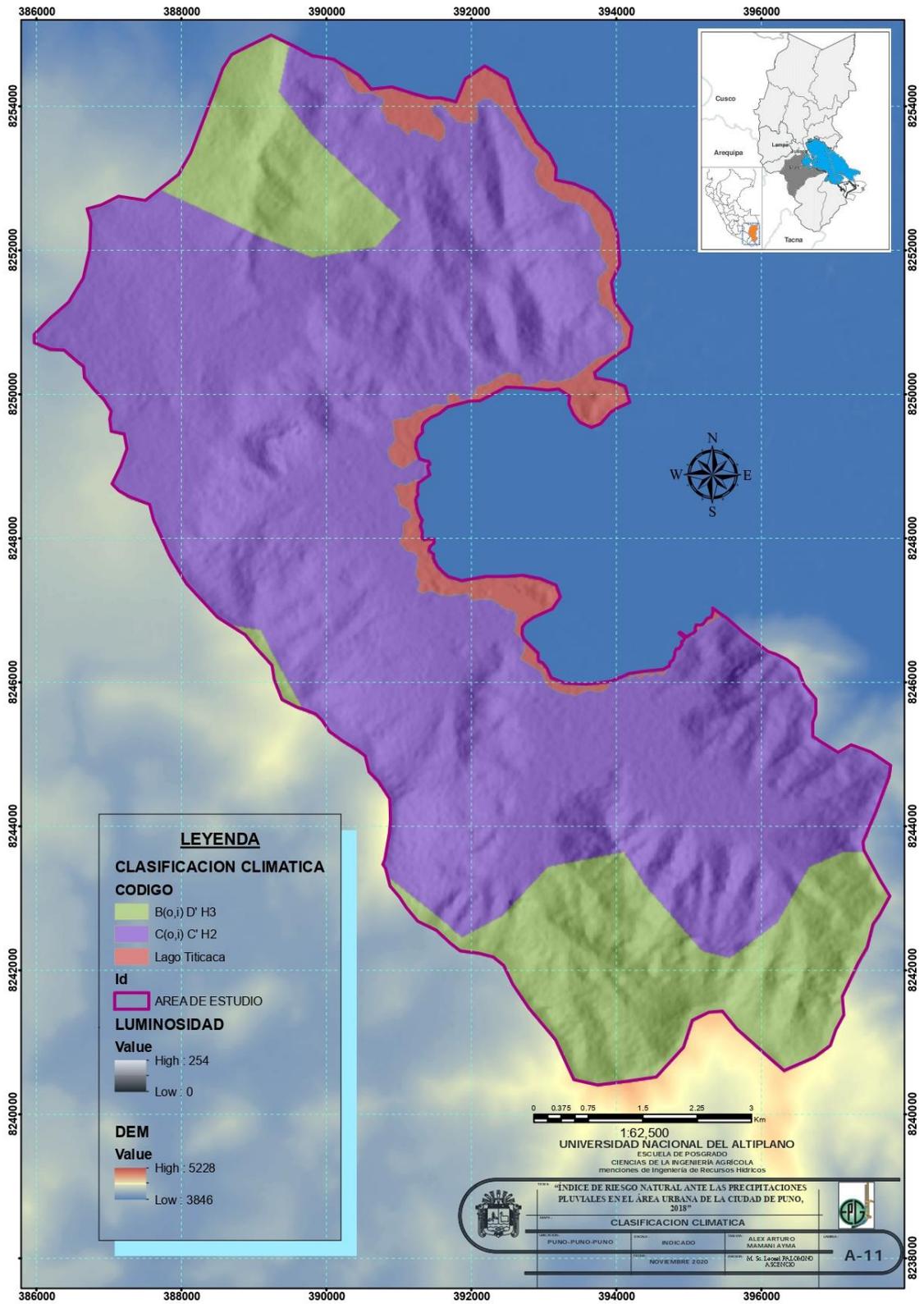


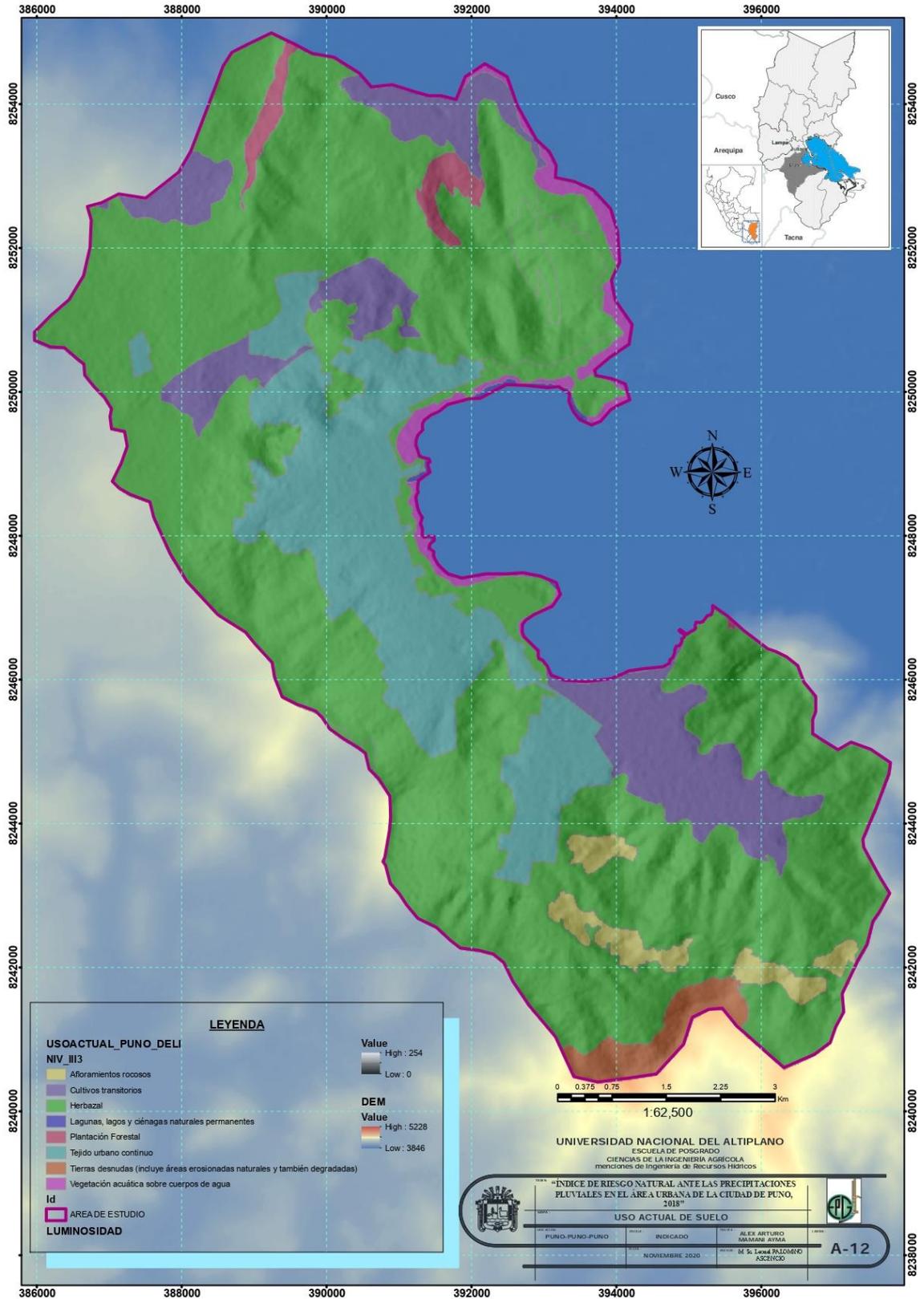


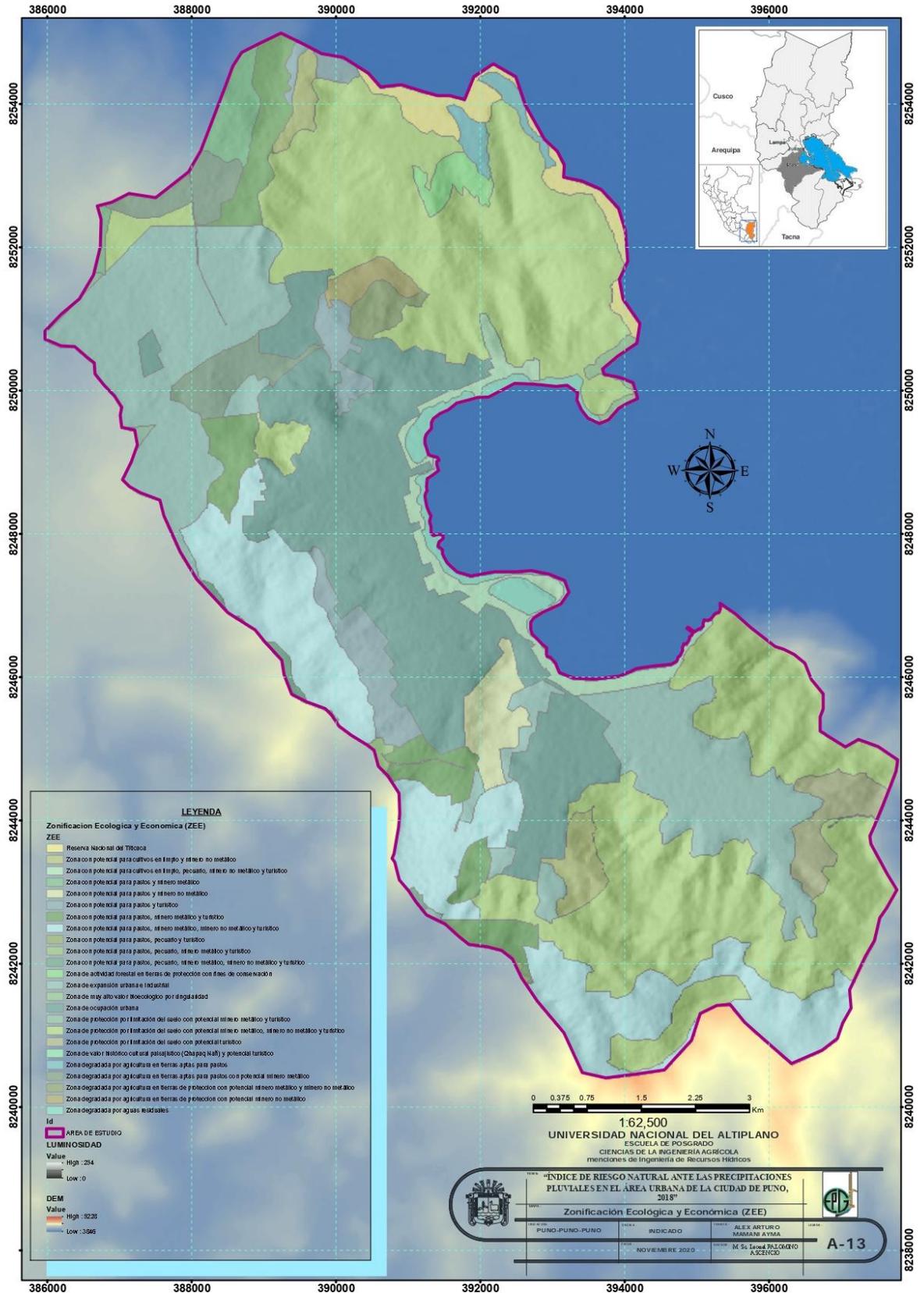


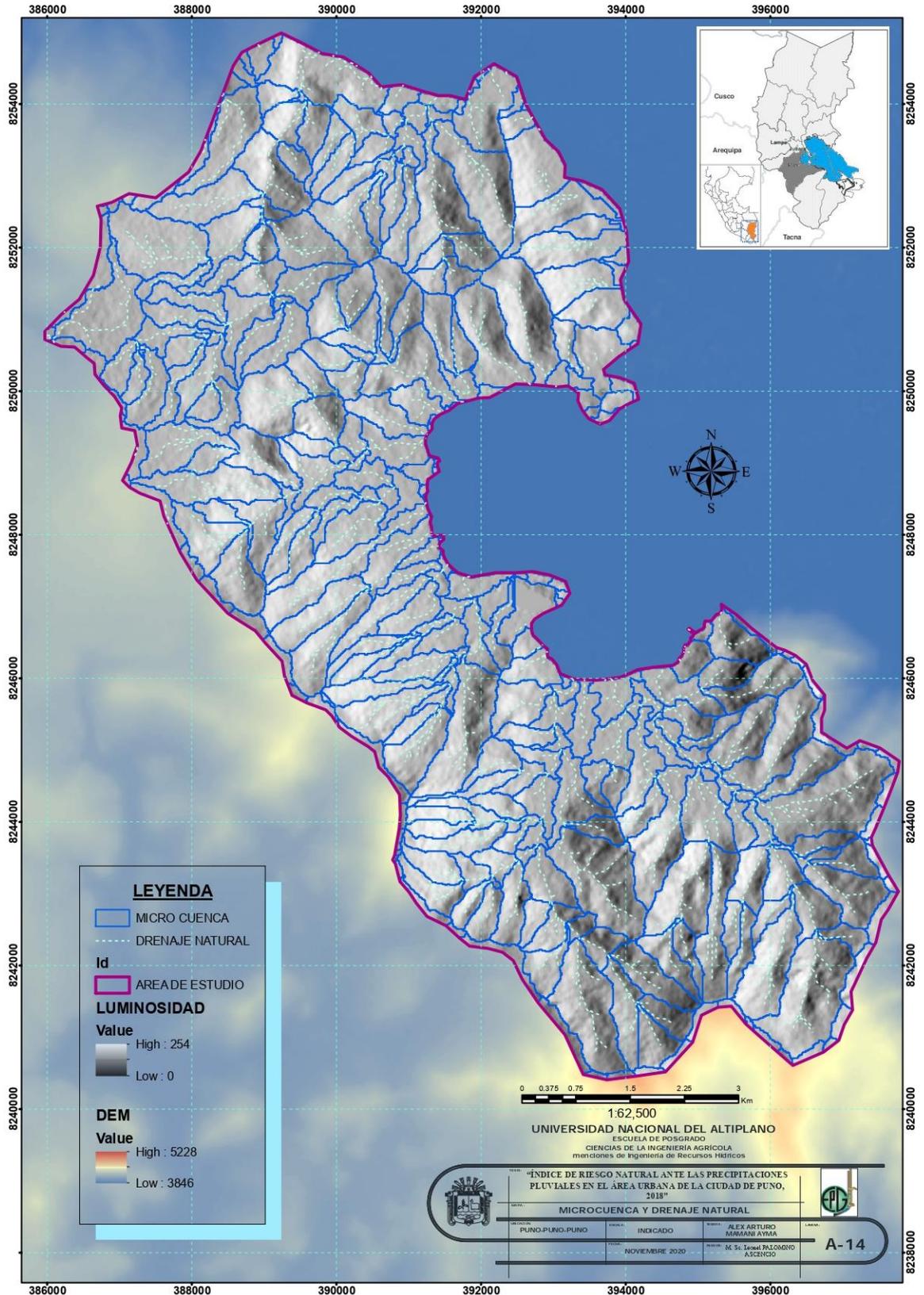


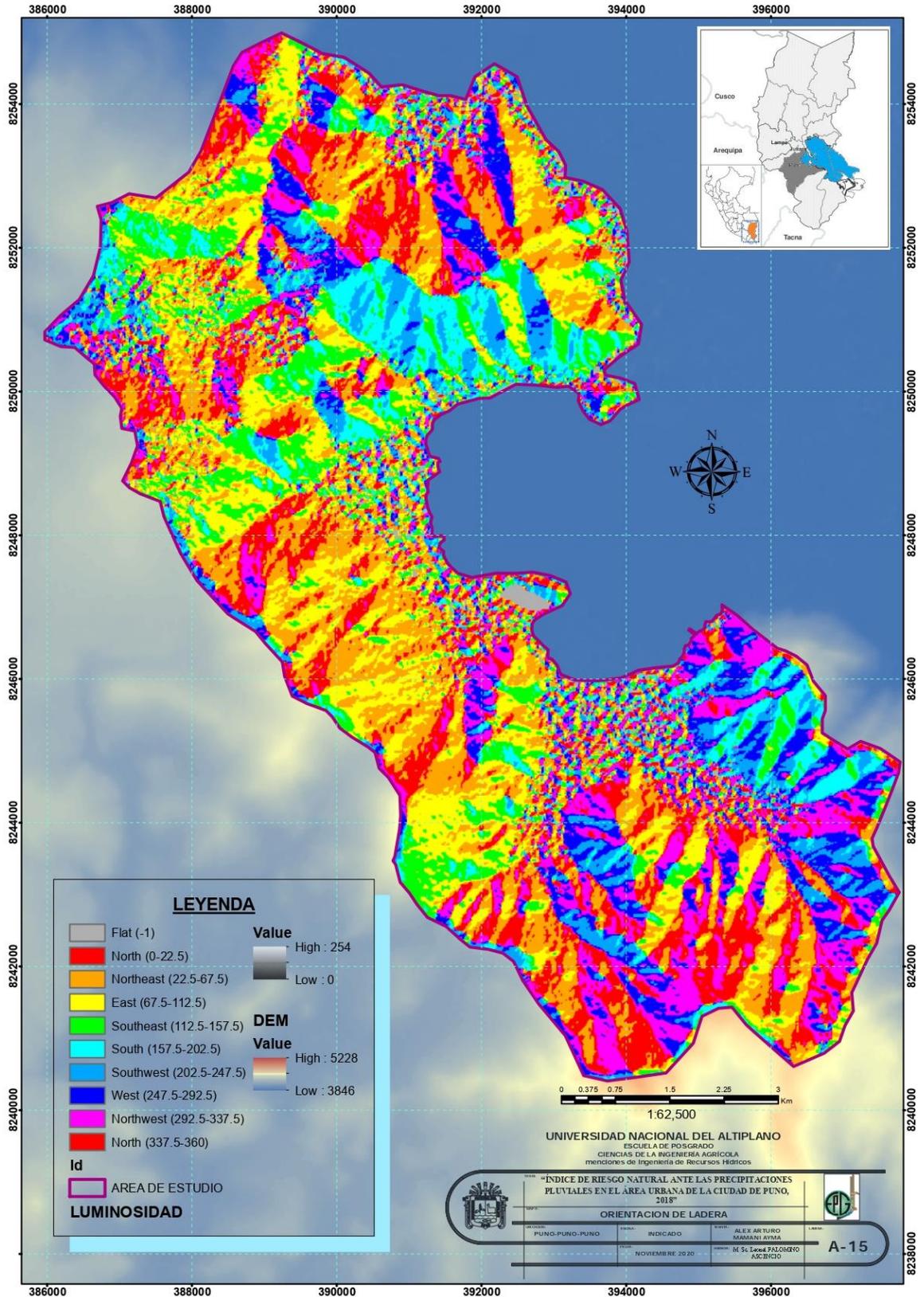


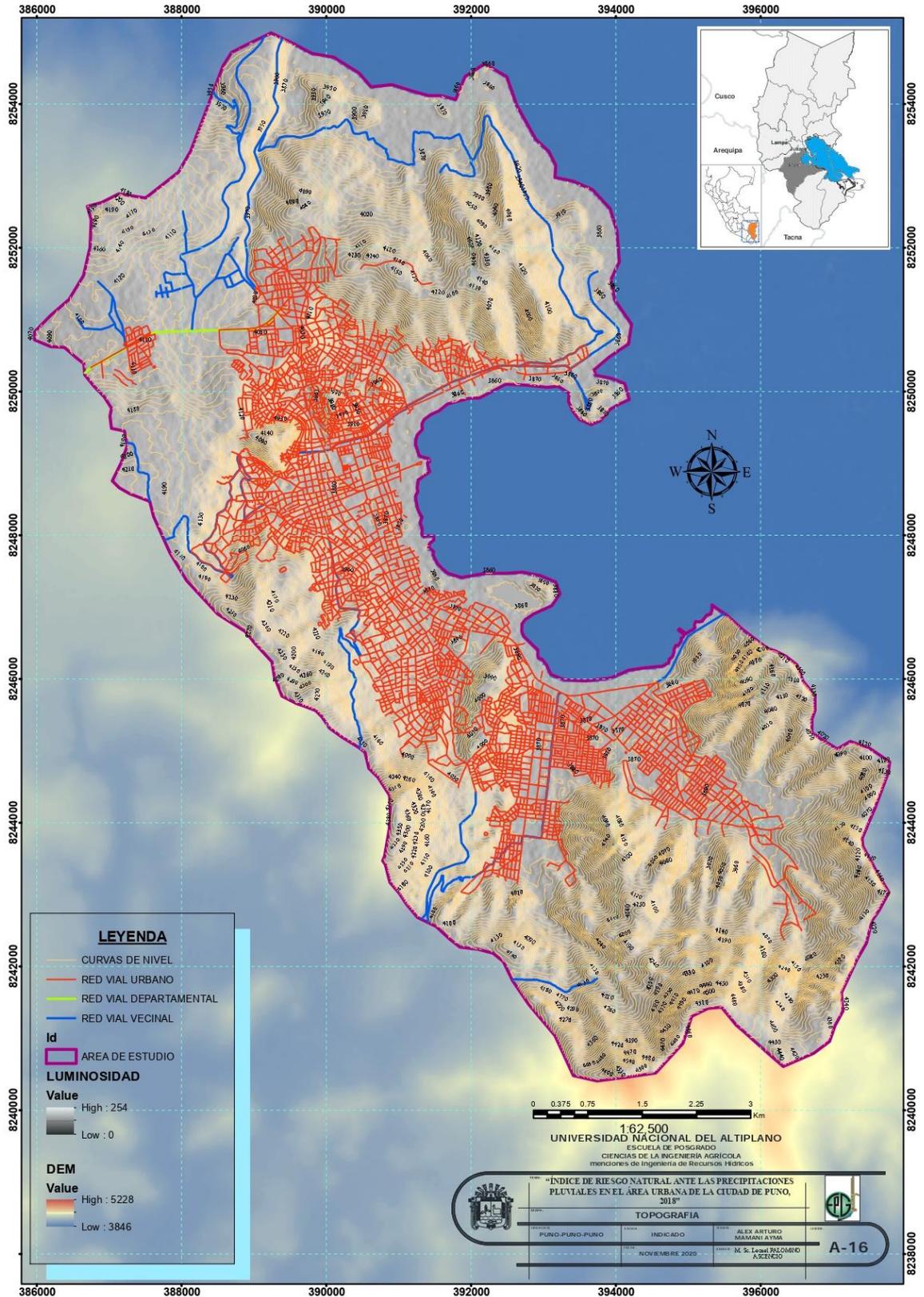


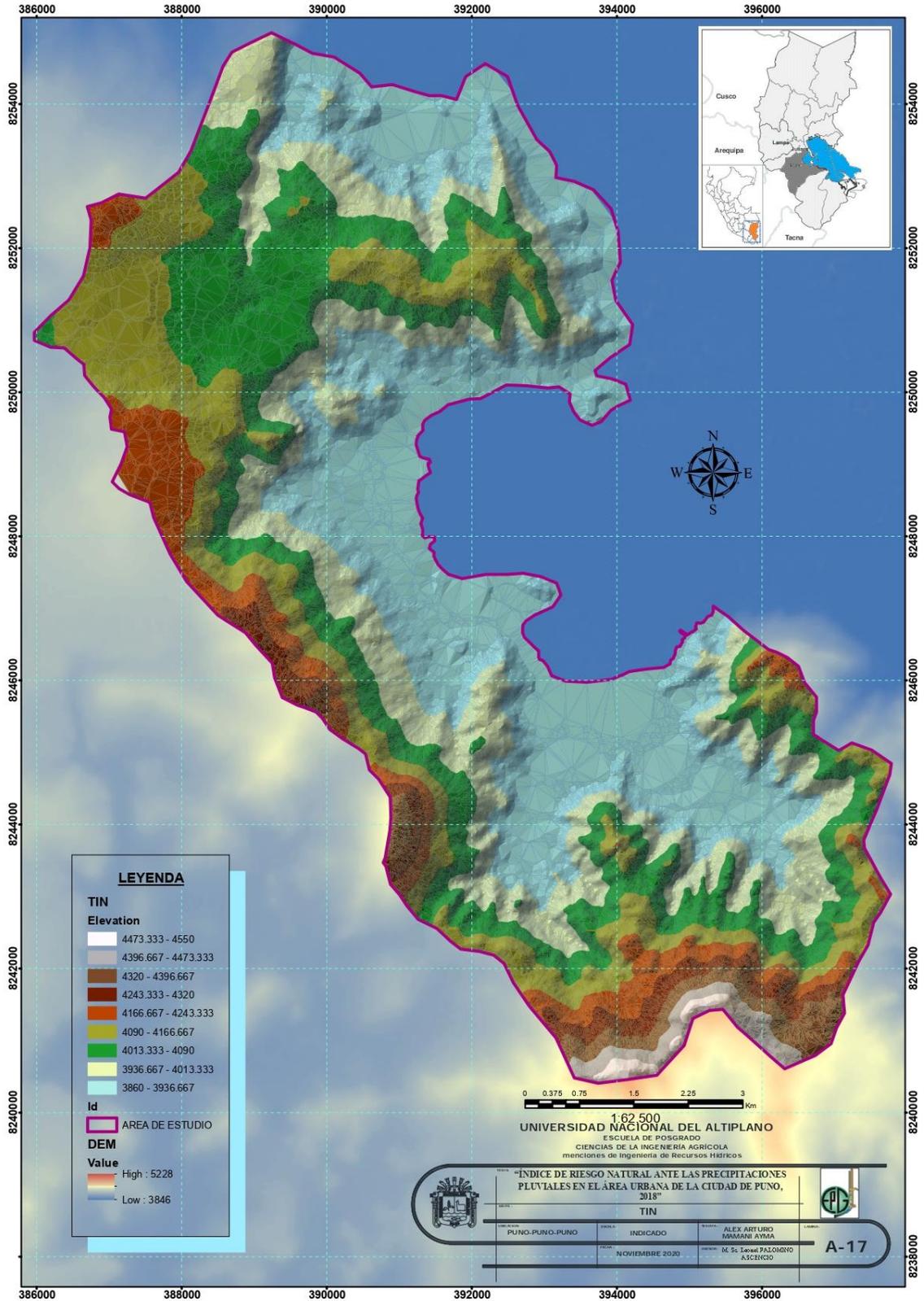


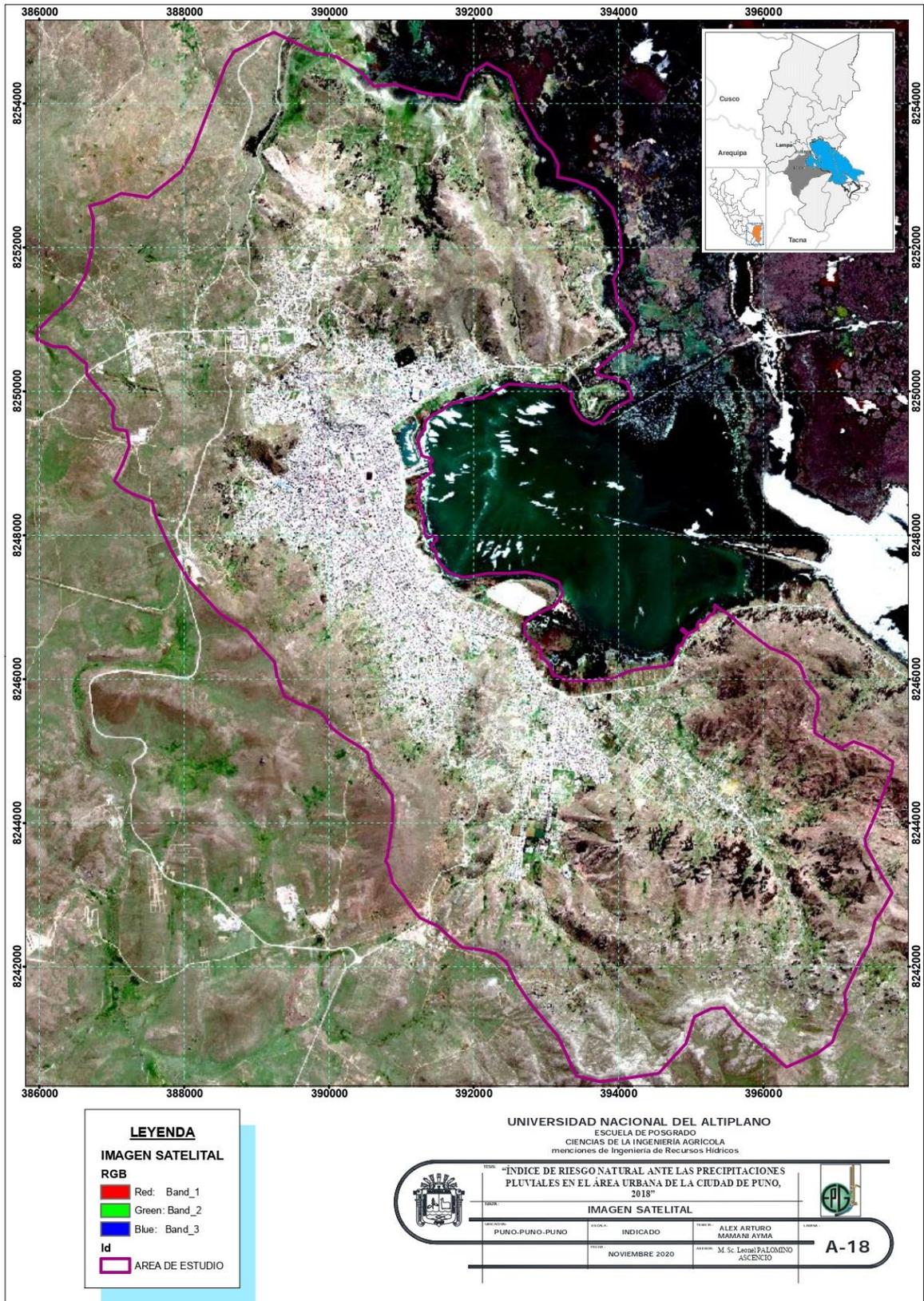


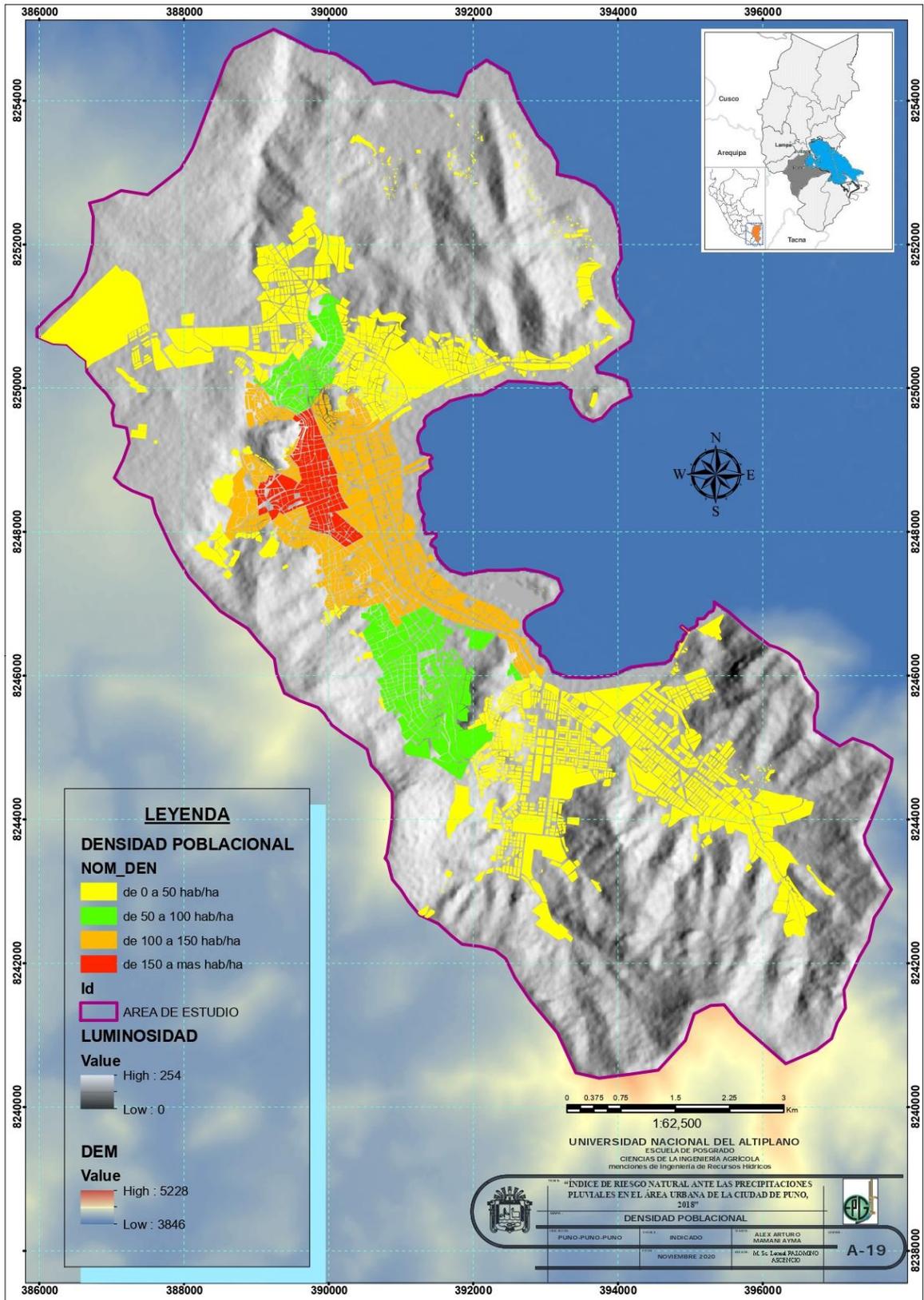


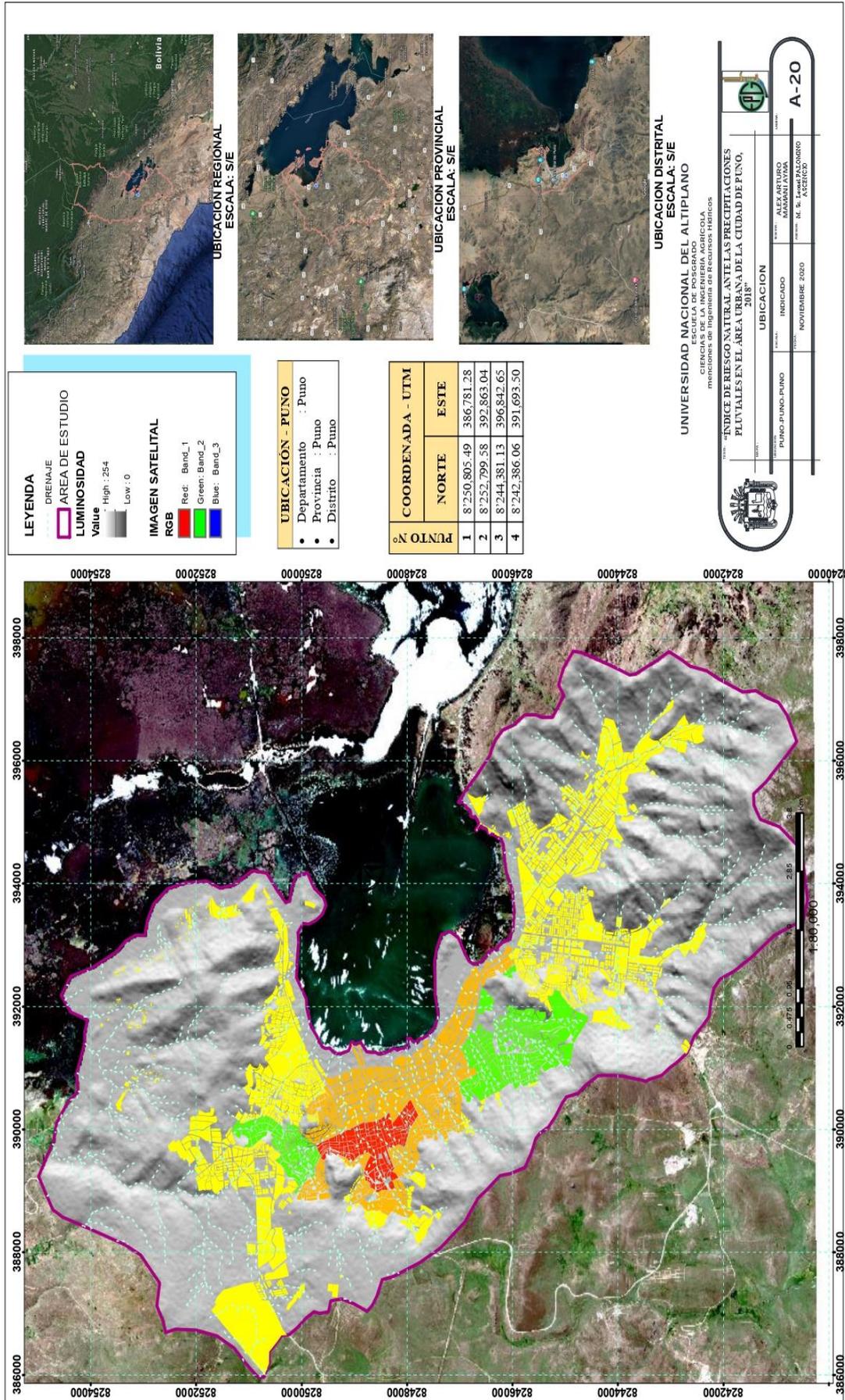












Anexo 3. Panel fotografico

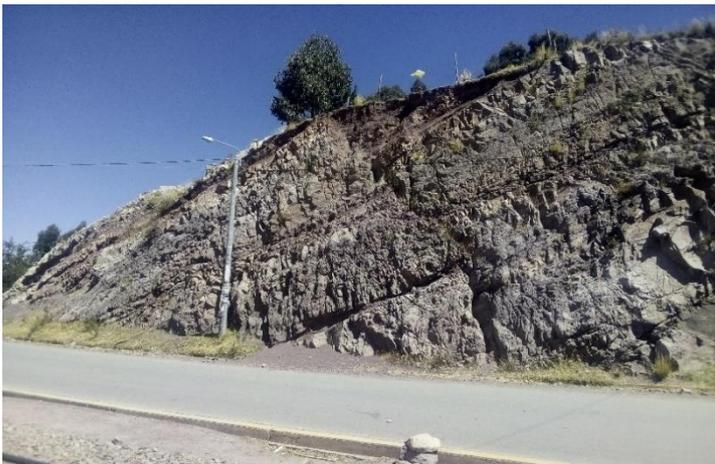


Figura 38. Corte de talud con falla local en coordenadas 394018.87 m E , 8250823.12 m S



Figura 39. Viviendas colindantes a talud natural en coordenadas 393996.61 m E, 8250877.07 m S



Figura 40. Vista de corte lateral de talud , con presencia de viviendas en la cresta en coordendas 394018.87 m E , 8250823.12 m S



Figura 41. Vista de vías de corte de talud con población colindante en coordenadas 393962.23 m E , 8250917.33 m S



Figura 42. Vista de zona de llanura de inundación en coordenadas 393695.42 m E, 8251442.16 m S



Figura 43. Vista isométrica de zona de talud natural zona de prospección de nueva vivienda en coordenada 393733.76 m E, 8251149.27 m S



Figura 44. Vista de área urbana ubicada en ladera de pendiente baja y media en coordenadas 393781.33 m E, 8250938.13 m S



Figura 45. Vista de área urbana ubicada en ladera de pendiente baja y media en coordenadas 393833.83 m E, 8250902.95 m S



Figura 46. Vista de zona de riesgo por caídas y desplazamiento plano en coordenadas 393559.83 m E, 8252324.83 m S



Figura 47. Vista de zona de erosión kárstica generando cavernas y zonas de vacío en el estrato de basamento en coordenadas 393534.21 m E, 8252453.95 m S



Figura 48. Vista de zona de llanura de inundación y lomada en coordenadas 391633.01 m E, 8253863.36 m S



Figura 49. Vista de zona de ladera de pendiente media a baja y zona de llanura de inundación en coordenadas 392271.57 m E, 8253844.42 m S



Figura 50. Vista de zona de llanura y llanura de inundación en coordenadas 392498.98 m E, 8253982.88 m S



Figura 51. Vista de ladera de pendiente alta en coordenadas 392271.89 m E, 8253584.16 m S



Figura 52. Vista de área urbana en zona de ladera de pendiente media a alta en coordenadas 391851.95 m E, 8252979.37 m S

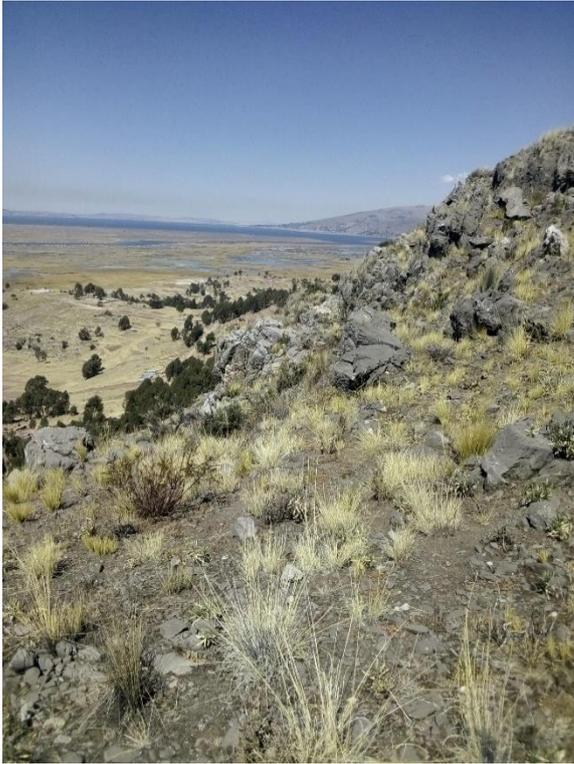


Figura 53. Vista de ladera pendiente alta, con presencia de rocas susceptibles a desprendimientos en coordenadas 392369.91 m E, 8253543.15 m S



Figura 54. Vista de ladera de pendiente alta a media con presencia de rocas susceptibles a caídas y flujos, con presencia de zona urbana en ladera de pendiente baja y llanura en coordenadas 392434.58 m E, 8253362.01 m S.



Figura 55. Vista de ladera de pendiente alta, media, colina y llanura y llanura de inundación con área urbana en coordenadas 393322.55 m E, 8252049.88 m S



Figura 56. Vista de cima y laderas con pendiente alta en coordenadas 393315.47 m E, 8250901.16 m S



Figura 57. Vista de ladera de pendiente media, baja en coordenadas 393395.41 m E, 8250337.52 m S y colina en coordenadas 393659.80 m E, 8249904.25 m S



Figura 58. Vista de zona urbana de la ciudad de Puno desde las coordenadas 392999.73 m E, 8250923.76 m S



Figura 59. Vista de ladera de cima y pendiente alta en coordenadas 392362.06 m E, 8251304.99 m S



Figura 60. Toma de datos litológicos, de zona geotécnica y litología del área urbana de la ciudad de Puno en coordenadas 393026.35 m E, 8250762.77 m S



Figura 61. Toma de datos y mapeo del área urbana de la ciudad de Puno en coordenadas 393026.35 m E, 8250762.77 m S



Figura 62.. Mapeo litológico, geomorfológico y zonas geotécnicas de la zona norte del área urbana de la ciudad de Puno en coordenadas 391538.33 m E, 8251431.19 m S



Figura 63. Vista de cima de la zona norte del área urbana de la ciudad de Puno en coordenadas 391538.33 m E, 8251431.19 m S



Figura 64. Vista del área urbana de la ciudad de Puno tomada desde las coordenadas 390707.71 m E, 8251771.27 m S



Figura 65. Vista de colina, ladera de pendiente alta, media y baja con habilitaciones urbanas em coordenada 390621.43 m E, 8250347.14 m S



Figura 66. Ladera con pendiente alta y presencia de viviendas susceptibles a flujos en coordenadas 389944.68 m E, 8250812.12 m S



Figura 67. Vista lateral de ladera con presencia de viviendas colindantes susceptibles a flujos y desprendimientos de rocas en coordenadas 390350.29 m E, 8250071.36 m S



Figura 68. Vista de ladera de pendiente alta y media con presencia de zona urbana en coordenadas 389918.84 m E, 8250619.61 m S



Figura 69. Vista de ladera de pendiente alta y media colindante a la ciudad universitaria en coordenadas 390882.61 m E, 8250137.75 m S



Figura 70. Vista de área urbana susceptible a flujos, desprendimiento de rocas y detritos en coordenadas 390882.61 m E, 8250137.75 m S



Figura 71. Vista lateral de pendiente alta colindante a ciudad universitaria en coordenadas 390882.61 m E, 8250137.75 m S



Figura 72. Vista de vivienda susceptible a desprendimiento de detritos y flujo de rocas en coordenadas 390029.76 m E, 8250025.88 m S



Figura 73. Vista de viviendas susceptibles a deslizamientos de detritos y flujos en coordenadas 390158.45 m E, 8250378.17 m S



Figura 74. Vista de vivienda en construcción en ladera dependiente media en coordenadas 390099.86 m E, 8250223.59 m S



Figura 75. Vista de vivienda sobre cresta de corte de talud para vivienda en coordenadas 390205.17 m E, 8249960.14 m S



Figura 76. Vivienda en construcción en ladera de pendiente alta y presencia de vivienda aledaña a desnivel en coordenadas 390155.10 m E, 8250017.33 m S



Figura 77. Área urbana en ladera de pendiente alta, media y baja del cerro azogueño. en coordenadas 389332.71 m E, 8249489.13 m S



Figura 78. Vista en de norte a sur de area de area urbana en ladera de pendiente alta, media y baja del cerro azogueño. en coordenadas 389332.71 m E, 8249489.13 m S



Figura 79. Vista desur a norte de área urbana en ladera de pendiente alta, media y baja del cerro azogueño. en coordenadas 389282.50 m E, 8248904.88 m S

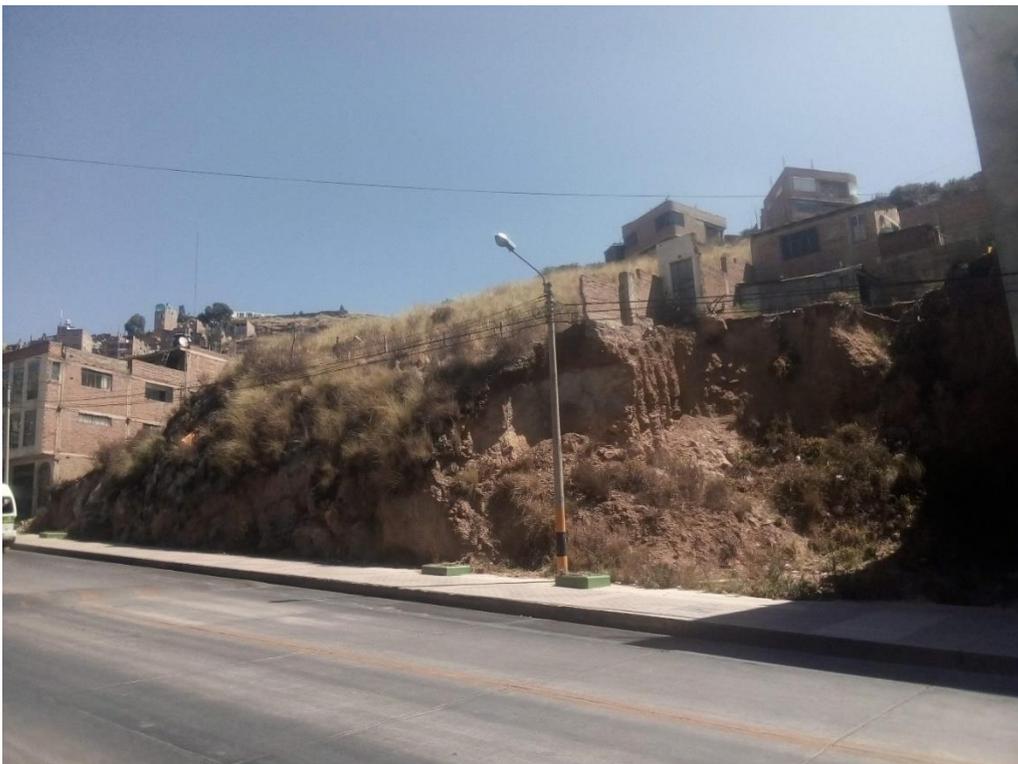


Figura 80. Vista de talud natural ubicada en el barrio huascas, salida a Juliaca en coordenadas 389568.04 m E, 8250062.24 m S



Figura 81. Vista de cima, ladera de pendiente alta de la zona de alto Huáscar, salida a Juliaca en coordenadas 389304.79 m E, 8249844.54 m S



Figura 82. Vista de zona de afloramiento rocoso en ladera dependiente media en coordenadas 389063.99 m E, 8249750.51 m S



Figura 83. Vista de área urbana en colina y ladera de pendiente media en coordenadas 390057.15 m E, 8249770.48 m S



Figura 84. Vista de cima y ladera de pendiente media y alta de la zona sur este oeste del área urbana de la ciudad de Puno en coordenadas 389018.59 m E, 8249840.14 m S



Figura 85. Vista de cima y ladera de pendiente media y alta de la zona sur este oeste del área urbana de la ciudad de Puno en coordenadas 388930.90 m E, 8249837.80 m S



Figura 86. Vista de ladera de pendiente alta y talud natural colíndate a vía de acceso en coordenadas 388975.49 m E, 8249743.33 m S



Figura 87. Vista de área urbana de la ciudad de Puno de este a oeste



Figura 88. Mapeo litológico, geomorfológico y zona geotécnica del área urbana de la ciudad de Puno en coordenadas 388890.02 m E, 8249777.24 m S



Figura 89. Recolección de datos de área estudio en coordenadas 388890.02 m E, 8249777.24 m S

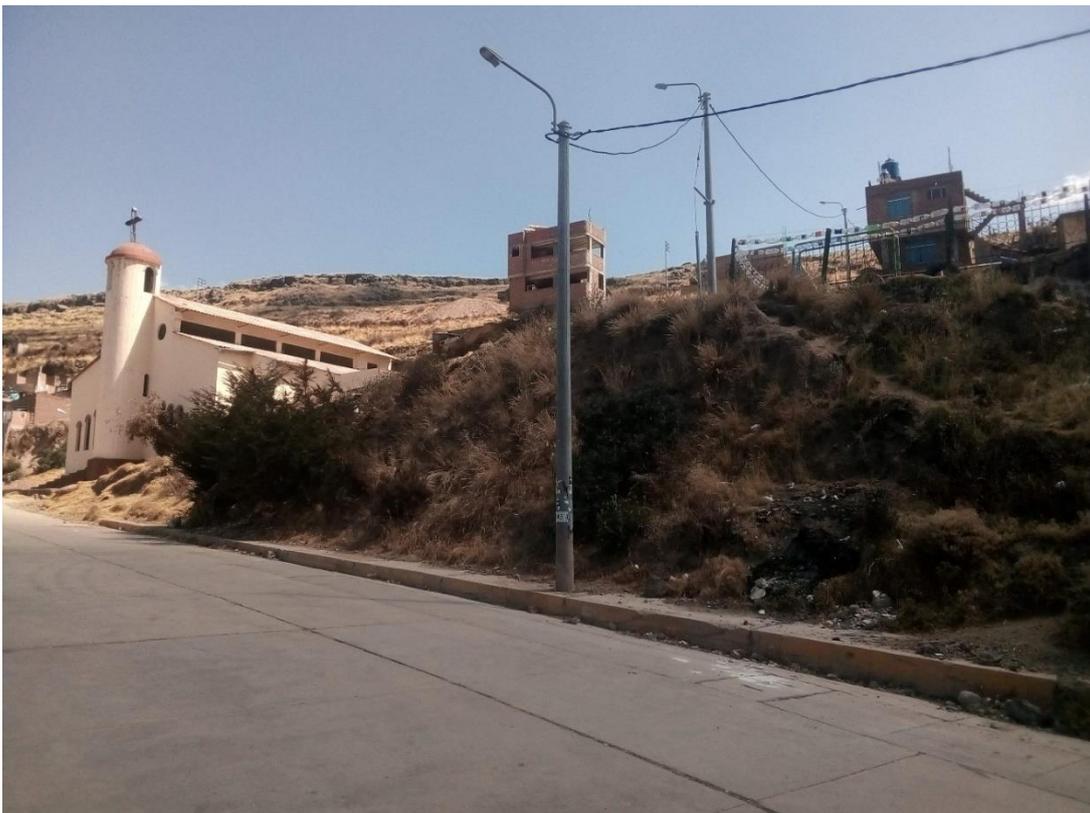


Figura 90. Viviendas y zonas de recurrencia poblacional masiva sobre ladera de pendiente alta en coordenadas 389073.54 m E, 8249685.91 m S



Figura 91. Vista de estabilización de taludes y laderas de pendiente media a alta en zona noreste del área urbana de la ciudad de Puno en coordenadas 389092.85 m E, 8249649.95 m S



Figura 92. Vista de viviendas de altura considerables sobre ladera de pendiente media a alta en coordenadas 389109.44 m E, 8249815.30 m S



Figura 93. Vista de área urbana en ladera de pendiente alta del cerro azogueño en coordenadas 389623.93 m E, 8249469.57 m S



Figura 94. Vista de talud colindante a vía de acceso a la ciudad de Puno y viviendas en ladera de pendiente alta en coordenadas 389623.85 m E, 8249400.57 m S.



Figura 95. Vista de viviendas en ladera de pendiente alta en cresta de talud de corte colindante a vía de acceso al área urbana de la ciudad de Puno en coordenadas 389602.63 m E, 8249333.36 m S



Figura 96. Vista de ladera de pendiente colindante a vía en coordenadas 389488.84 m E, 8249081.75 m S



Figura 97. Vista de valle en v colindante a cerro azogueño de la ciudad de Puno en coordenadas 389241.56 m E, 8248812.38 m S.



Figura 98. Vista de viviendas en crestas de talud en coordenadas 389180.66 m E, 8248694.42 m S



Figura 99. Corte de talud para construcción de vivienda en coordenadas 389132.25 m E, 8248661.52 m S



Figura 100. Vista de valle en v en coordenadas 389085.52 m E, 8248395.49 m S



Figura 101. Vista de valle en v en coordenadas 389247.62 m E, 8248823.63 m S



Figura 102. Vista general de area urbana colindate a cerro huajsapata en coordenadas 389582.97 m E, 8248393.75 m S.



Figura 103. Vista de norte a sur del área urbana colindante al cerro Huajsapata en coordenadas 389582.97 m E, 8248393.75 m S.



Figura 104. Vista de oeste a este de pendiente y área urbana colindante en coordenadas 389582.97 m E, 8248393.75 m S.



Figura 105. Vista de drenaje pluvial y aguas servidas en el centro poblado de salcedo en coordenadas 393020.96 m E, 8245290.22 m S



Figura 106. Vista de norte a sur de área urbana colindante a zona montañosa en coordenadas 393645.22 m E, 8244574.67 m S



Figura 107. Vista de ladera de pendiente alta, media con presencia de detritos, flujos de roca y área urbana asentada coordenadas 392672.44 m E, 8245333.58 m S



Figura 108. Vista de noreste a suroeste, Ladera de pendiente media con asentamiento urbano en coordenadas 392634.19 m E, 8245236.23 m S



Figura 109. Vista de talud de corte con pendiente alta y asentamiento urbano de la ciudad de Puno en coordenadas 392620.72 m E, 8245422.66 m S



Figura 110. Vista de talud de corte con pendiente alta y asentamiento urbano de la ciudad de Puno en coordenadas 392620.72 m E, 8245422.66 m S



Figura 111. Vista de ladera de pendiente media y zona de depositario de sedimentos originados por precipitaciones pluviales en coordenadas 392614.24 m E, 8245714.72 m S.



Figura 112. Vista de corte de talud horizontal con presencia de viviendas en la cresta. en coordenadas 392731.30 m E, 8245800.78 m S



Figura 113. Vista de vivienda colindante a talud de corte para vía en coordenadas 392693.16 m E, 8245768.77 m S



Figura 114. Vivienda colindante a talud de corte con desprendimiento de detritos y rocas suelta en coordenadas 392663.84 m E, 8245757.90 m S



Figura 115. Vista de zonas de estabilización de pendiente alta, colindante a vía interprovincial en coordenadas 392622.81 m E, 8246446.96 m S



Figura 116. Vista de área urbana colindante con llanura de inundación y colina en coordenadas 392877.95 m E, 8247231.59 m S



Figura 117. Vista de zona urbana colindante a ladera de pendiente alta y cima en coordenadas 397627.68 m E, 8245938.03 m S



Figura 118. Vista de este a oeste de área urbana asentada en laderas de pendiente baja en el centro poblado de Jayllihuaya en coordenadas 397627.68 m E, 8245938.03 m S



Figura 119. Vista de noreste a suroeste de área urbana asentada en laderas de pendiente baja en el centro poblado de jayllihuaya en coordenadas 396581.23 m E, 8242473.36 m S



Figura 120. Vista de oeste a este de ladera de pendiente media y baja colindante con valle en v en coordenadas 396581.23 m E, 8242473.36 m S



Figura 1210. Vista de suroeste a noreste de área urbana del centro poblado de jayllihuaya 396581.23 m E, 8242473.36 m S

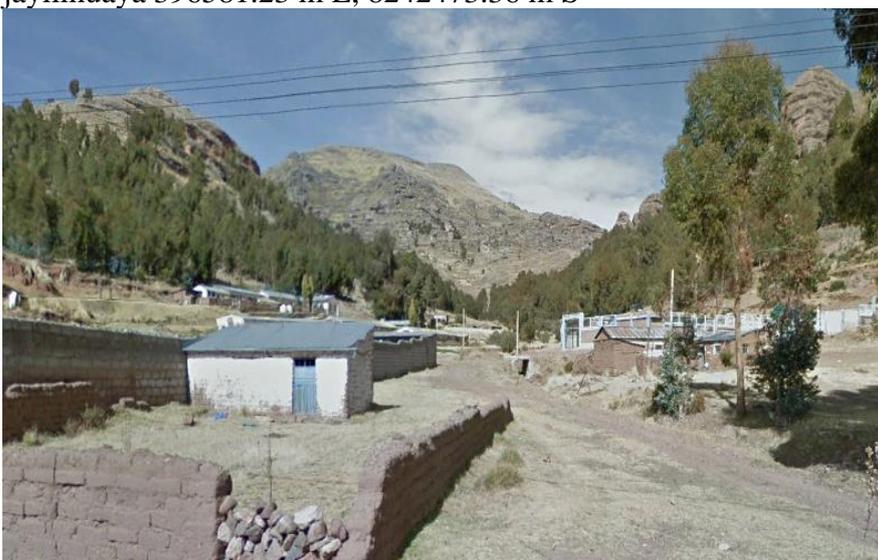


Figura 122. Vista de valle en v colindante con colinas y ladera de pendiente alta y baja en coordenadas 395911.03 m E, 8243546.91 m S



Figura 123. Vista de área urbana del centro poblado de jayllihuaya en coordenadas 394784.98 m E, 8244692.96 m S



Figura 124. Vista de oeste a este de área urbana del centro poblado de salcedo colíndate con laderas de pendiente alta en coordenadas 393195.92 m E, 8243749.97 m S



Figura 125. Vista de noreste a suroeste de ladera de pendiente media, colindante al área urbana en el centro poblado de salcedo en coordenadas 392445.43 m E, 8243849.46 m S

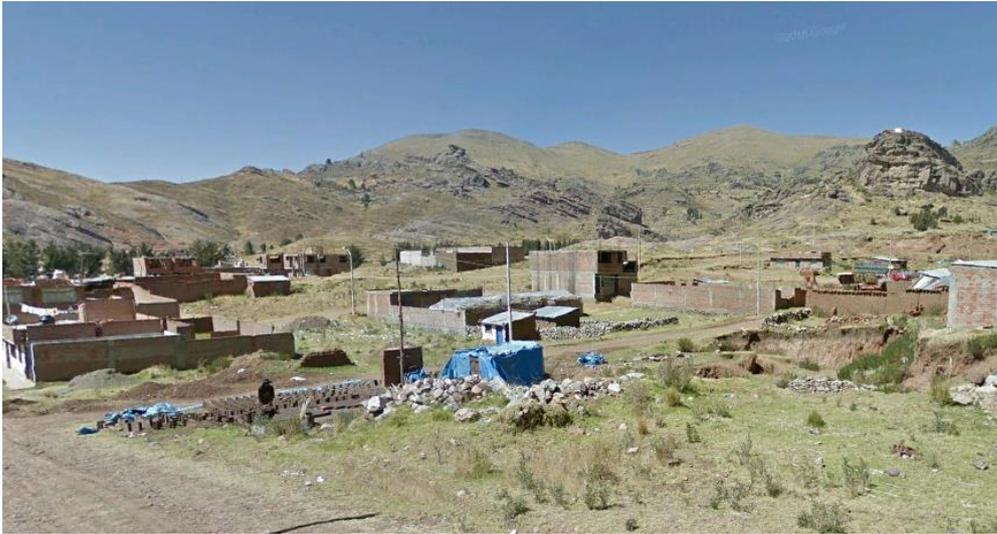


Figura 126. Vista de área urbana en expansión del centro poblado de salcedo colindante con zonas de pendiente media a alta. en coordenadas 392517.95 m E, 8243774.37 m S



Figura 127. Vista de oeste a este de centro recreacional de salcedo con ladera y cima en coordenadas 393116.30 m E, 8244299.19 m S



Figura 128. Vista de corte de talud en zona suroeste del área urbana de la ciudad de Puno en coordenadas 391925.59 m E, 8243608.20 m S



Figura 129. vista de laderas de pendiente alta colindantes al área urbana en expansión en la zona suroeste del área urbana de la ciudad de Puno en coordenadas 391861.20 m E, 8243989.44 m S



Figura 130. Vista de laderas de pendiente alta colindantes al área urbana en expansión en la zona suroeste del área urbana de la ciudad de Puno en coordenadas 391861.20 m E, 8243989.44 m S



Figura 131. Vista de colina y ladera de pendiente media, colíndate a área urbana en coordenadas 391943.31 m E, 8244860.62 m S



Figura 132. Vista de zona de expansión correspondiente a centro poblado de alto Puno en coordenadas 387559.31 m E, 8250342.02 m S



Figura 133. Vista de habitación urbana Habitad en el centro poblado de alto Puno en coordenadas 387383.91 m E, 8250466.46 m S