



Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

**VRIN** | VICERRECTORADO  
DE INVESTIGACIÓN

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

**EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR  
EFECTO DE LAS PRECIPITACIONES EN LA  
SUBCUENCA DEL RÍO CHOTANO**

**Línea de Investigación:**

Desarrollo urbano-rural, catastro, prevención de riesgos, hidráulica y  
geotecnia (Hidrología y comportamiento de suelos)

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**Autor:**

Alvarez Jaramillo, Richard

**Asesor:**

Dr. Gómez Lora, Jhon Walter  
ORCID: 0000-0003-4926-8967

**Jurado:**

Mg. Mendoza García, José Tomas  
Mg. Vásquez Aranda, Ahuber Omar  
Mg. Reyna Mandujano, Samuel Carlos

**Lima – Perú**

**2023**

### **Dedicatoria**

A Dios por darme la fuerza, la salud y el apoyo de mis seres queridos para culminar con éxito dicha investigación, porque con Él, nada es imposible. A mis padres Leonardo y María, por su apoyo, dedicación, amor y guía incondicional para ser la persona que soy. A mis hermanos que siempre me han ayudado cuando lo necesitaba. A Lucy quien me aconsejo para seguir con mis metas y siempre confiar en mí. Y al Doctor Gómez que desde la universidad me dio las bases y el conocimiento para el desarrollo de la tesis y como asesor la guía adecuada para culminarla.



## ÍNDICE

Resumen .....	21
Abstract.....	22
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>23</b>
1.1. Descripción y formulación del Problema.....	25
1.1.1. Descripción del Problema.....	25
1.1.2. Formulación del Problema.....	26
1.2. Antecedentes .....	27
1.2.1. En el contexto nacional.....	27
1.2.2. En el contexto internacional .....	31
1.3. Objetivos .....	34
1.3.1. Objetivo general .....	34
1.3.2. Objetivos específicos .....	34
1.4. Justificación.....	34
1.4.1. Importancia.....	36
1.5. Hipótesis.....	37
1.5.1. Hipótesis general .....	37
1.5.2. Hipótesis específicas.....	37
<b>II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>38</b>
2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación.....	38
2.1.1. Cuenca hidrográfica.....	38
2.1.2. Suelo .....	38
2.1.3. Conceptos de erosión de suelos y erosión hídrica .....	40
2.1.4. Tipos de erosión hídrica .....	42
2.1.5. Factores que originan la erosión hídrica.....	43
2.1.6. Precipitaciones máximas y periodos de retorno .....	44

2.1.7. Análisis de correlación y análisis regionales .....	49
2.1.8. Ecuación universal de pérdida de suelo - USLE (Universal Soil Loss Equation)..	52
2.1.9. Sistemas de información geográfica (SIG).....	66
<b>III. MÉTODO .....</b>	<b>70</b>
3.1. Tipo de la Investigación .....	70
3.2. Ámbito temporal y espacial.....	70
3.2.1. Ubicación Geográfica .....	70
3.2.2. Demarcación Hidrográfica .....	71
3.2.3. Demarcación Política.....	71
3.2.4. Accesibilidad .....	73
3.2.5. Diagnostico físico .....	73
3.2.6. Clima .....	94
3.2.7. Zonas de vida.....	100
3.2.8. Cobertura Vegetal.....	106
3.2.9. Suelos.....	123
3.2.10. Pendiente .....	149
3.2.11. Amenazas ambientales en la subcuenca .....	156
3.2.12. Datos históricos de precipitaciones máximas en Cajamarca. ....	162
3.3. Variables.....	176
3.3.1. Variables del primer objetivo específico .....	176
3.3.2. Variables del segundo objetivo específico .....	176
3.3.3. Variables del tercer objetivo específico.....	176
3.4. Población y muestra .....	176
3.4.1. Población .....	176
3.4.2. Muestra .....	177
3.5. Instrumentos .....	177
3.5.1. Materiales .....	177

3.5.2. Equipos .....	178
3.5.3. Técnicas e instrumentos.....	178
3.6. Procedimientos .....	179
3.6.1. Etapas de la investigación.....	179
3.7. Análisis de datos.....	187
3.7.1. Análisis de correlación para las estaciones meteorológicas .....	187
3.7.2. Determinación del factor R mediante el Índice modificado de Fournier .....	214
3.7.3. Análisis de correlación regional para la estación Chancay Baños .....	221
3.7.4. Análisis de precipitaciones, factor de erosividad y periodos de retorno .....	226
IV. RESULTADOS .....	258
4.1. Factores de la ecuación universal de pérdida de suelo - USLE .....	258
4.1.1. Factor de lluvia o índice de erosividad pluvial (R) .....	258
4.1.2. Factor de erodabilidad (K).....	259
4.1.3. Factor topográfico (LS) .....	266
4.1.4. Factor de cobertura vegetal (C) .....	269
4.1.5. Factor de conservación de suelos (P) .....	272
4.2. Pérdida de suelo y erosión potencial para las nueve estaciones de la subcuenca .....	272
4.2.1. Pérdida de suelos y erosión potencial para precipitaciones medias .....	273
4.2.2. Pérdida de suelos y erosión potencial para precipitaciones máximas .....	280
4.3. Pérdida de suelo y erosión potencial en la subcuenca del río Chotano.....	287
4.3.1. Pérdida de suelos y erosión potencial para precipitaciones medias .....	288
4.3.2. Pérdida de suelos y erosión potencial para precipitaciones máximas .....	301
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	314
VI. CONCLUSIONES.....	319
VII. RECOMENDACIONES .....	320
VI. REFERENCIAS .....	321

## Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación natural de los suelos.....	39
Tabla 2. Ejemplos de interpretación de la probabilidad y el periodo de retorno. ....	45
Tabla 3. Valores de $\mu_y$ y $\sigma_y$ según la cantidad de datos.....	47
Tabla 4. Clasificación de degradación de suelo causada por la erosión.....	53
Tabla 5. Valores de “K” en función de la unidad y textura del suelo, según la FAO.....	59
Tabla 6. Factor “K” para el tipo de suelo de la clasificación desarrollada por la WRB.....	60
Tabla 7. Valores del Factor LS según la pendiente del terreno.....	62
Tabla 8. Valores del Factor C según el tipo de cubierta.....	63
Tabla 9. Valores del Factor C según la cobertura, el tipo de cultivo y práctica.....	64
Tabla 10. Valores del Factor P según la práctica de conservación.....	65
Tabla 11. Rangos aproximados del factor de forma.....	75
Tabla 12. Cálculos para la obtención de la altitud media de la subcuenca de estudio.....	77
Tabla 13. Rangos aproximados de la pendiente media del cauce principal.....	78
Tabla 14. Cálculos para obtener la curva hipsométrica y el polígono de frecuencias.....	80
Tabla 15. Cálculos de los segmentos del lado mayor del rectángulo equivalente.....	82
Tabla 16. Cálculos para obtener el índice de pendiente.....	85
Tabla 17. Rangos aproximados de la pendiente media.....	86
Tabla 18. Parámetros fisiográficos calculados para la subcuenca de estudio.....	86
Tabla 19. Cantidad y longitud de las corrientes distribuidas de acuerdo a su orden.....	89
Tabla 20. Rangos aproximados de la densidad de drenaje.....	91
Tabla 21. Parámetros de red de drenaje calculados para la subcuenca de estudio.....	92
Tabla 22. Superficie y porcentaje de la distribución climática en la subcuenca de estudio... .	95
Tabla 23. Descripción de la simbología para cada distribución climática.....	95
Tabla 24. Distribución climática en la subcuenca para la provincia Chota.....	96
Tabla 25. Distribución climática en la subcuenca para la provincia Cutervo.....	97
Tabla 26. Superficie y porcentaje de la distribución de zonas de vida en la subcuenca.....	100
Tabla 27. Distribución de zonas de vida en la subcuenca para la provincia Chota.....	103
Tabla 28. Distribución de zonas de vida en la subcuenca para la provincia Cutervo.....	104
Tabla 29. Superficie y porcentaje de la distribución de cobertura vegetal en la subcuenca..	106
Tabla 30. Descripción de la simbología para cada cobertura vegetal.....	107
Tabla 31. Distribución de cobertura vegetal en la subcuenca de estudio - Unidades puras...	108
Tabla 32. Distribución de cobertura vegetal para la provincia Chota - Unidades puras.....	113

Tabla 33. Distribución de cobertura vegetal para la provincia Cutervo - Unidades puras ....	114
Tabla 34. Distribución de cobertura vegetal en la subcuenca de estudio - Asociaciones.....	115
Tabla 35. Distribución de cobertura vegetal para la provincia Chota - Asociaciones.....	119
Tabla 36. Distribución de cobertura vegetal para la provincia Cutervo - Asociaciones.....	120
Tabla 37. Distribución de grandes grupos de suelo en la subcuenca de estudio .....	123
Tabla 38. Descripción de la simbología para cada grupo de suelo .....	124
Tabla 39. Distribución de grandes grupos de suelos en la subcuenca-Consociaciones.....	126
Tabla 40. Distribución de grandes grupos de suelos para Chota-Consociaciones.....	134
Tabla 41. Distribución de grandes grupos de suelos para Cutervo-Consociaciones .....	135
Tabla 42. Distribución de grandes grupos de suelos en la subcuenca-Asociaciones.....	136
Tabla 43. Distribución de grandes grupos de suelos para Chota-Asociaciones .....	146
Tabla 44. Distribución de grandes grupos de suelos para Cutervo-Asociaciones .....	147
Tabla 45. Rangos de pendiente .....	149
Tabla 46. Distribución de rangos de pendiente en la subcuenca de estudio .....	150
Tabla 47. Distribución de rangos de pendiente para Chota .....	151
Tabla 48. Distribución de rangos de pendiente para Cutervo .....	153
Tabla 49. Distribución de los procesos de desertificación en la subcuenca .....	156
Tabla 50. Distribución de la intensidad de peligro de pérdida de suelos en la subcuenca ....	158
Tabla 51. Datos de precipitación máxima histórica para la estación Asunción.....	163
Tabla 52. Datos de precipitación máxima histórica para la estación Augusto Weberbauer..	163
Tabla 53. Datos de precipitación máxima histórica para la estación Cachachi .....	164
Tabla 54. Datos de precipitación máxima histórica para la estación Cajabamba .....	164
Tabla 55. Datos de precipitación máxima histórica para la estación Chancay Baños .....	165
Tabla 56. Datos de precipitación máxima histórica para la estación Chilete .....	165
Tabla 57. Datos de precipitación máxima histórica para la estación Chirinos .....	166
Tabla 58. Datos de precipitación máxima histórica para la estación Chontali .....	166
Tabla 59. Datos de precipitación máxima histórica para la estación Chotano Lajas.....	167
Tabla 60. Datos de precipitación máxima histórica para la estación Chugur .....	167
Tabla 61. Datos de precipitación máxima histórica para la estación Cochabamba .....	168
Tabla 62. Datos de precipitación máxima histórica para la estación Cutervo .....	168
Tabla 63. Datos de precipitación máxima histórica para la estación El Limón.....	169
Tabla 64. Datos de precipitación máxima histórica para la estación Hacienda Pucara.....	169
Tabla 65. Datos de precipitación máxima histórica para la estación La Cascarilla.....	170
Tabla 66. Datos de precipitación máxima histórica para la estación Lives .....	170

Tabla 67. Datos de precipitación máxima histórica para la estación Llama.....	171
Tabla 68. Datos de precipitación máxima histórica para la estación Quebrada Shugar .....	171
Tabla 69. Datos de precipitación máxima histórica para la estación Querocotillo.....	172
Tabla 70. Datos de precipitación máxima histórica para la estación Sallique.....	172
Tabla 71. Datos de precipitación máxima histórica para la estación San Benito .....	173
Tabla 72. Datos de precipitación máxima histórica para la estación San Juan.....	173
Tabla 73. Datos de precipitación máxima histórica para la estación San Marcos.....	174
Tabla 74. Datos de precipitación máxima histórica para la estación Tabaconas.....	174
Tabla 75. Datos de precipitación máxima histórica para la estación Tocmoche .....	175
Tabla 76. Datos de precipitación máxima histórica para la estación Udimá .....	175
Tabla 77. Estaciones de Cajamarca ubicadas cerca y dentro de la subcuenca .....	187
Tabla 78. Datos de precipitaciones para la estación Chotano Lajas .....	189
Tabla 79. Coeficiente de correlación entre los datos históricos de la precipitación media para la estación Chotano Lajas .....	190
Tabla 80. Coeficiente de correlación entre los datos históricos de la precipitación máxima para la estación Chotano Lajas .....	191
Tabla 81. Valores de precipitación media para la ecuación de Grado 4 - Año 1993.....	192
Tabla 82. Valores de precipitación máxima para la ecuación de Grado 2 - Año 1993 .....	194
Tabla 83. Valores de precipitación media para la ecuación de Grado 3 - Año 1991.....	196
Tabla 84. Valores de precipitación media para la ecuación de Grado 5 - Año 2017.....	197
Tabla 85. Valores de precipitación máxima para la ecuación de Grado 3 - Año 1991 .....	199
Tabla 86. Valores de precipitación máxima para la ecuación de Grado 3 - Año 2011 .....	200
Tabla 87. Ecuaciones para las nueve estaciones de estudio.....	202
Tabla 88. Datos completos de precipitaciones para la estación Chancay Baños.....	205
Tabla 89. Datos completos de precipitaciones para la estación Chotano Lajas.....	206
Tabla 90. Datos completos de precipitaciones para la estación Chugur.....	207
Tabla 91. Datos completos de precipitaciones para la estación Cochabamba.....	208
Tabla 92. Datos completos de precipitaciones para la estación Cutervo .....	209
Tabla 93. Datos completos de precipitaciones para la estación Hacienda Pucara.....	210
Tabla 94. Datos completos de precipitaciones para la estación Llama.....	211
Tabla 95. Datos completos de precipitaciones para la estación Quebrada Shugar .....	212
Tabla 96. Datos completos de precipitaciones para la estación Querocotillo.....	213
Tabla 97. Cálculo del Factor R (erosividad) para la estación Chancay Baños .....	215
Tabla 98. Factor de erosividad para las precipitaciones de la estación Chancay Baños .....	216

Tabla 99. Factor de erosividad para las precipitaciones de la estación Chotano Lajas .....	217
Tabla 100. Factor de erosividad para las precipitaciones de la estación Chugur .....	217
Tabla 101. Factor de erosividad para las precipitaciones de la estación Cochabamba.....	218
Tabla 102. Factor de erosividad para las precipitaciones de la estación Cutervo.....	218
Tabla 103. Factor de erosividad para las precipitaciones de la estación Hacienda Pucara ...	219
Tabla 104. Factor de erosividad para las precipitaciones de la estación Llama .....	219
Tabla 105. Factor de erosividad para las precipitaciones de la estación Quebrada Shugar...	220
Tabla 106. Factor de erosividad para las precipitaciones de la estación Querocotillo .....	220
Tabla 107. Datos de precipitación media para las estaciones de la subcuenca de estudio ....	221
Tabla 108. Coeficiente de correlación entre los datos de precipitación media de 31 años de las estaciones de la subcuenca de estudio .....	222
Tabla 109. Valores de precipitación media para la ecuación de Grado 4 - Chancay Baños..	223
Tabla 110. Análisis para los datos faltantes del año 2016 - Estación Chancay Baños .....	225
Tabla 111. Ecuaciones para los datos faltantes del año 2016 - Estación Chancay Baños.....	225
Tabla 112. Cálculo de $\alpha$ y $\mu$ para los datos completos de la precipitación media .....	226
Tabla 113. Cálculo de la precipitación media para diferentes tiempos de retorno .....	227
Tabla 114. Coeficiente de correlación entre los datos de precipitación media de los diferentes tiempos de retorno de las estaciones de la subcuenca de estudio .....	228
Tabla 115. Valores estimados de precipitación media para la ecuación lineal - Estaciones Chancay Baños y Chotano Lajas .....	229
Tabla 116. Valores estimados de precipitación media para la ecuación lineal - Estaciones Quebrada Shugar y Querocotillo .....	230
Tabla 117. Ecuaciones de precipitación media entre las estaciones de la subcuenca.....	230
Tabla 118. Precipitaciones medias de las estaciones para diferentes tiempos de retorno .....	231
Tabla 119. Ecuaciones de Pp media vs Altitud para diferentes tiempos de retorno .....	232
Tabla 120. Precipitación media de la subcuenca para diferentes tiempos de retorno.....	233
Tabla 121. Cálculo de $\alpha$ y $\mu$ para los datos completos de la precipitación máxima .....	234
Tabla 122. Cálculo de la precipitación máxima para diferentes tiempos de retorno.....	235
Tabla 123. Coeficiente de correlación entre los datos de precipitación máxima de los diferentes tiempos de retorno de las estaciones de la subcuenca de estudio .....	236
Tabla 124. Valores estimados de precipitación máxima para la ecuación lineal - Estaciones Chotano Lajas y Chugur .....	237
Tabla 125. Valores estimados de precipitación máxima para la ecuación lineal - Estaciones Llama y Quebrada Shugar .....	238

Tabla 126. Ecuaciones de precipitación máxima entre las estaciones de la subcuenca .....	238
Tabla 127. Precipitaciones máximas de las estaciones para diferentes tiempos de retorno ..	239
Tabla 128. Ecuaciones de Pp máxima vs Altitud para diferentes tiempos de retorno.....	240
Tabla 129. Precipitación máxima media de la subcuenca para diferentes tiempos de retorno .....	241
Tabla 130. Cálculo de $\alpha$ y $\mu$ para los datos completos de erosividad de la precipitación media .....	242
Tabla 131. Cálculo del factor de erosividad de la precipitación media para diferentes tiempos de retorno .....	243
Tabla 132. Coeficiente de correlación del factor R de la precipitación media de los diferentes tiempos de retorno entre las estaciones de la subcuenca de estudio .....	244
Tabla 133. Valores estimados del factor R de la precipitación media para la ecuación lineal - Estaciones Chugur y Cochabamba.....	245
Tabla 134. Valores estimados del factor R de la precipitación media para la ecuación lineal - Estaciones Hacienda Pucara y Llama .....	246
Tabla 135. Ecuaciones del factor R de la precipitación media entre las diferentes estaciones de la subcuenca de estudio .....	246
Tabla 136. Factor R de la Pp media para diferentes tiempos de retorno .....	247
Tabla 137. Ecuaciones del Factor R de la relación Pp media (y) vs Altitud (h) para diferentes tiempos de retorno.....	248
Tabla 138. Factor R medio de la subcuenca para diferentes tiempos de retorno.....	249
Tabla 139. Cálculo de $\alpha$ y $\mu$ para los datos completos de erosividad de la precipitación máxima.....	250
Tabla 140. Cálculo del factor de erosividad de la precipitación máxima para diferentes tiempos de retorno.....	251
Tabla 141. Coeficiente de correlación del factor R de la precipitación máxima de los diferentes tiempos de retorno entre las estaciones de la subcuenca de estudio .....	252
Tabla 142. Valores estimados del factor R de la Pp máxima para la ecuación lineal - Estaciones Cochabamba y Cutervo.....	253
Tabla 143. Valores estimados del factor R de la Pp máxima para la ecuación lineal - Estaciones Cutervo y Hacienda Pucara.....	254
Tabla 144. Ecuaciones del factor R de la Pp máxima entre las diferentes estaciones de la subcuenca de estudio.....	254
Tabla 145. Factor R de la Pp máxima para diferentes tiempos de retorno .....	255



Tabla 146. Ecuaciones del Factor R de la relación Pp máxima (y) vs Altitud (h) para diferentes tiempos de retorno.....	256
Tabla 147. Factor R máximo medio de la subcuenca para diferentes tiempos de retorno ....	257
Tabla 148. Resultados del factor R de la Pp media para diferentes tiempos de retorno.....	258
Tabla 149. Resultados del factor R de la Pp máxima para diferentes tiempos de retorno.....	259
Tabla 150. Resultados del factor de erodabilidad K para las estaciones de la subcuenca.....	260
Tabla 151. Resultados del factor de erodabilidad K para la subcuenca de estudio .....	266
Tabla 152. Resultados del factor topográfico LS para las estaciones de la subcuenca .....	267
Tabla 153. Resultados del factor topográfico LS para la subcuenca de estudio.....	267
Tabla 154. Resultados del factor de cobertura vegetal C para estaciones de la subcuenca...	270
Tabla 155. Resultados del factor de cobertura vegetal C para la subcuenca de estudio.....	270
Tabla 156. Simbología de los mapas y su clasificación descrita para el factor C .....	272
Tabla 157. Pérdida de suelo de las precipitaciones medias para las estaciones de la subcuenca de estudio en diferentes tiempos de retorno.....	273
Tabla 158. Erosión potencial de pérdida de suelo de las precipitaciones medias para las estaciones de la subcuenca de estudio en diferentes tiempos de retorno.....	273
Tabla 159. Cálculo de la pérdida de suelo y erosión potencial de las Pp medias para las estaciones de la subcuenca de estudio - Tiempo de retorno de 5 años .....	274
Tabla 160. Clasificación de la degradación de suelos de la FAO de la pérdida de suelo y erosión potencial de las Pp medias para las estaciones - Tiempo de retorno de 5 años .....	274
Tabla 161. Cálculo de la pérdida de suelo y erosión potencial de las Pp medias para las estaciones de la subcuenca de estudio - Tiempo de retorno de 100 años .....	276
Tabla 162. Clasificación de la degradación de suelos de la FAO de la pérdida de suelo y erosión potencial de las Pp medias para las estaciones - Tiempo de retorno de 100 años ....	276
Tabla 163. Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp medias en la estación Chancay Baños para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.....	278
Tabla 164. Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp medias en la estación Hacienda Pucara para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.....	279
Tabla 165. Pérdida de suelo de las precipitaciones máximas para las estaciones de la subcuenca de estudio en diferentes tiempos de retorno .....	280
Tabla 166. Erosión potencial de pérdida de suelo de las precipitaciones máximas para las estaciones de la subcuenca de estudio en diferentes tiempos de retorno.....	280
Tabla 167. Cálculo de la pérdida de suelo y erosión potencial de las Pp máximas para las estaciones de la subcuenca de estudio - Tiempo de retorno de 5 años .....	281

Tabla 168. Clasificación de la degradación de suelos de la FAO de la pérdida de suelo y erosión potencial de las Pp máximas para las estaciones - Tiempo de retorno de 5 años .....	281
Tabla 169. Cálculo de la pérdida de suelo y erosión potencial de las Pp máximas para las estaciones de la subcuenca de estudio - Tiempo de retorno de 100 años .....	283
Tabla 170. Clasificación de la degradación de suelos de la FAO de la pérdida de suelo y erosión potencial de las Pp máximas para las estaciones - Tiempo de retorno de 100 años..	283
Tabla 171. Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp máximas en la estación Chancay Baños para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.....	285
Tabla 172. Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp máximas en la estación Hacienda Pucara para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.....	286
Tabla 173. Pérdida de suelo de las precipitaciones medias y clasificación de la FAO para diferentes tiempos de retorno en la subcuenca de estudio .....	288
Tabla 174. Erosión potencial de las precipitaciones medias y clasificación de la FAO para diferentes tiempos de retorno en la subcuenca de estudio .....	289
Tabla 175. Clasificación de la pérdida de suelo de las Pp medias en la subcuenca de estudio - TR de 5 años .....	292
Tabla 176. Clasificación de la erosión potencial de las Pp medias en la subcuenca de estudio - TR de 5 años .....	292
Tabla 177. Clasificación de pérdida de suelo de las Pp medias en la subcuenca de estudio - TR de 10 años .....	293
Tabla 178. Clasificación de la erosión potencial de las Pp medias en la subcuenca de estudio - TR de 10 años .....	293
Tabla 179. Clasificación de pérdida de suelo de las Pp medias en la subcuenca de estudio - TR de 25 años .....	294
Tabla 180. Clasificación de la erosión potencial de las Pp medias en la subcuenca de estudio - TR de 25 años .....	294
Tabla 181. Clasificación de pérdida de suelo de las Pp medias en la subcuenca de estudio - TR de 50 años .....	295
Tabla 182. Clasificación de la erosión potencial de las Pp medias en la subcuenca de estudio - TR de 50 años .....	295
Tabla 183. Clasificación de pérdida de suelo de las Pp medias en la subcuenca de estudio - TR de 100 años .....	296
Tabla 184. Clasificación de la erosión potencial de las Pp medias en la subcuenca de estudio - TR de 100 años .....	296

Tabla 185. Pérdida de suelo de las precipitaciones máximas y clasificación de la FAO para diferentes tiempos de retorno en la subcuenca de estudio .....	301
Tabla 186. Erosión potencial de las precipitaciones máximas y clasificación de la FAO para diferentes tiempos de retorno en la subcuenca de estudio .....	301
Tabla 187. Clasificación de la pérdida de suelo de las Pp máximas en la subcuenca de estudio - TR de 5 años .....	305
Tabla 188. Clasificación de la erosión potencial de las Pp máximas en la subcuenca de estudio - TR de 5 años .....	305
Tabla 189. Clasificación de la pérdida de suelo de las Pp máximas en la subcuenca de estudio - TR de 10 años .....	306
Tabla 190. Clasificación de la erosión potencial de las Pp máximas en la subcuenca de estudio - TR de 10 años .....	306
Tabla 191. Clasificación de la pérdida de suelo de las Pp máximas en la subcuenca de estudio - TR de 25 años .....	307
Tabla 192. Clasificación de la erosión potencial de las Pp máximas en la subcuenca de estudio - TR de 25 años .....	307
Tabla 193. Clasificación de la pérdida de suelo de las Pp máximas en la subcuenca de estudio - TR de 50 años .....	308
Tabla 194. Clasificación de la erosión potencial de las Pp máximas en la subcuenca de estudio - TR de 50 años .....	308
Tabla 195. Clasificación de la pérdida de suelo de las Pp máximas en la subcuenca de estudio - TR de 100 años .....	309
Tabla 196. Clasificación de la erosión potencial de las Pp máximas en la subcuenca de estudio - TR de 100 años .....	309

### **Índice de figuras**

Figura 1. Nomograma de Wischmeier y Smith para el cálculo del factor K (Renard, 1997)..	58
Figura 2. Curva hipsométrica y polígono de frecuencias de altitudes .....	80
Figura 3. Rectángulo equivalente de la subcuenca .....	83
Figura 4. Distribución porcentual de las características climáticas .....	96
Figura 5. Distribución porcentual de las condiciones climáticas para Chota .....	97
Figura 6. Distribución porcentual de las condiciones climáticas para Cutervo .....	98
Figura 7. Distribución porcentual de zonas de vida en la subcuenca de estudio .....	101
Figura 8. Distribución porcentual de las zonas de vida para la provincia de Chota .....	104

Figura 9. Distribución porcentual de las zonas de vida para la provincia de Cutervo.....	104
Figura 10. Distribución porcentual de cobertura vegetal en la subcuenca de estudio .....	107
Figura 11. Distribución porcentual de cobertura vegetal en la subcuenca-Unidades puras ..	109
Figura 12. Distribución porcentual de cobertura vegetal (Unidades puras) para Chota .....	113
Figura 13. Distribución porcentual de cobertura vegetal (Unidades puras) para Cutervo.....	114
Figura 14. Distribución porcentual de cobertura vegetal en la subcuenca-Asociaciones.....	116
Figura 15. Distribución porcentual de cobertura vegetal (Asociaciones) para Chota .....	119
Figura 16. Distribución porcentual de cobertura vegetal (Asociaciones) para Cutervo .....	120
Figura 17. Distribución porcentual de grandes grupos de suelos en la subcuenca .....	125
Figura 18. Distribución porcentual de suelos en la subcuenca de estudio-Consociaciones ..	126
Figura 19. Descripción resumida del Andosol por la FAO .....	128
Figura 20. Descripción resumida del Leptosol por la FAO .....	129
Figura 21. Descripción resumida del Phaeozem por la FAO.....	132
Figura 22. Descripción resumida del Regosol por la FAO .....	133
Figura 23. Distribución porcentual de suelos (Consociaciones) para Chota .....	134
Figura 24. Distribución porcentual de suelos (Consociaciones) para Cutervo.....	135
Figura 25. Distribución porcentual de suelos en la subcuenca de estudio-Asociaciones .....	137
Figura 26. Distribución porcentual de suelos (Asociaciones) para Chota.....	146
Figura 27. Distribución porcentual de suelos (Asociaciones) para Cutervo.....	147
Figura 28. Distribución porcentual de pendientes en la subcuenca de estudio.....	150
Figura 29. Distribución porcentual de pendientes para Chota.....	152
Figura 30. Distribución porcentual de pendientes para Cutervo.....	154
Figura 31. Distribución de los procesos de desertificación en la subcuenca .....	157
Figura 32. Distribución porcentual de la intensidad de peligro de pérdida de suelos .....	162
Figura 33. Esquema de las etapas de la investigación .....	184
Figura 34. Modelamiento para determinar la subcuenca de estudio.....	185
Figura 35. Modelamiento para determinar la erosión a través del método USLE-SIG.....	186
Figura 36. Ecuación de grado 4 para los datos de precipitación media - 1993 vs 2005 .....	192
Figura 37. Ecuación de grado 2 para los datos de precipitación máxima - 1993 vs 2002.....	194
Figura 38. Ecuación de grado 3 para los datos de precipitación media - 1991 vs 1993 .....	195
Figura 39. Ecuación de grado 5 para los datos de precipitación media - 2017 vs 2021 .....	197
Figura 40. Ecuación de grado 3 para los datos de precipitación máxima - 1991 vs 1997.....	198
Figura 41. Ecuación de grado 3 para los datos de precipitación máxima - 2011 vs 2012.....	200

Figura 42. Ecuación de grado 4 para los datos de la precipitación media - Chancay Baños vs Querocotillo .....	223
Figura 43. Ecuación lineal para las estaciones Chancay Baños y Chotano Lajas .....	228
Figura 44. Ecuación lineal para las estaciones Quebrada Shugar y Querocotillo .....	229
Figura 45. Precipitaciones medias para un tiempo de retorno de 5 años vs Altitud .....	231
Figura 46. Ecuación de la Pp media de la subcuenca de estudio para diferentes tiempos de retorno .....	233
Figura 47. Ecuación lineal para las estaciones Chotano Lajas y Chugur .....	236
Figura 48. Ecuación lineal para las estaciones Llama y Quebrada Shugar .....	237
Figura 49. Precipitaciones máximas para un tiempo de retorno de 100 años vs Altitud .....	239
Figura 50. Ecuación de la Pp máxima media de la subcuenca para diferentes tiempos de retorno .....	241
Figura 51. Ecuación lineal para las estaciones Chugur y Cochabamba.....	244
Figura 52. Ecuación lineal para las estaciones Hacienda Pucara y Llama .....	245
Figura 53. Factor R de la Pp media para un tiempo de retorno de 5 años vs Altitud .....	247
Figura 54. Ecuación del factor R medio de la subcuenca de estudio para diferentes tiempos de retorno .....	249
Figura 55. Ecuación lineal para las estaciones Cochabamba y Cutervo.....	252
Figura 56. Ecuación lineal para las estaciones Cutervo y Hacienda Pucara.....	253
Figura 57. Factor R de la Pp máxima para un tiempo de retorno de 100 años vs Altitud .....	255
Figura 58. Ecuación del factor R máximo medio de la subcuenca para diferentes tiempos de retorno .....	257
Figura 59. Pérdida de suelo y erosión potencial de las precipitaciones medias en las nueve estaciones de la subcuenca de estudio para un tiempo de retorno de 5 años .....	275
Figura 60. Pérdida de suelo y erosión potencial de las precipitaciones medias en las nueve estaciones de la subcuenca de estudio para un tiempo de retorno de 100 años .....	277
Figura 61. Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp medias en la estación Chancay Baños.....	278
Figura 62. Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp medias en la estación Hacienda Pucara.....	279
Figura 63. Pérdida de suelo y erosión potencial de las precipitaciones máximas en las nueve estaciones de la subcuenca de estudio para un tiempo de retorno de 5 años .....	282
Figura 64. Pérdida de suelo y erosión potencial de las precipitaciones máximas en las nueve estaciones de la subcuenca de estudio para un tiempo de retorno de 100 años .....	284

Figura 65. Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp máximas en la estación Chancay Baños.....	285
Figura 66. Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp máximas en la estación Hacienda Pucara.....	286
Figura 67. Valor mínimo de la pérdida de suelo y de la erosión potencial por efecto de las precipitaciones medias en la subcuenca de estudio .....	289
Figura 68. Valor máximo de la pérdida de suelo y de la erosión potencial por efecto de las precipitaciones medias en la subcuenca de estudio .....	290
Figura 69. Porcentaje de la categoría “ninguna o ligera” de la FAO para la pérdida de suelo y la erosión potencial por efecto de las precipitaciones medias para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años .....	290
Figura 70. Porcentaje de la categoría “moderada” de la FAO para la pérdida de suelo y la erosión potencial por efecto de las precipitaciones medias para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años .....	291
Figura 71. Porcentaje de la categoría “alta” de la FAO para la pérdida de suelo y la erosión potencial por efecto de las precipitaciones medias para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años .....	291
Figura 72. Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp medias para un TR de 5 años en la subcuenca de estudio.....	292
Figura 73. Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp medias para un TR de 10 años en la subcuenca de estudio.....	293
Figura 74. Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp medias para un TR de 25 años en la subcuenca de estudio.....	294
Figura 75. Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp medias para un TR de 50 años en la subcuenca de estudio.....	295
Figura 76. Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp medias para un TR de 100 años en la subcuenca de estudio.....	296
Figura 77. Valor mínimo de la pérdida de suelo y de la erosión potencial por efecto de las precipitaciones máximas en la subcuenca de estudio .....	302
Figura 78. Valor máximo de la pérdida de suelo y de la erosión potencial por efecto de las precipitaciones máximas en la subcuenca de estudio .....	302
Figura 79. Porcentaje de la categoría “ninguna o ligera” de la FAO para la pérdida de suelo y la erosión potencial por efecto de las precipitaciones máximas para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años .....	303

Figura 80. Porcentaje de la categoría “moderada” de la FAO para la pérdida de suelo y la erosión potencial por efecto de las precipitaciones máximas para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años .....	303
Figura 81. Porcentaje de la categoría “alta” de la FAO para la pérdida de suelo y la erosión potencial por efecto de las precipitaciones máximas para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años .....	304
Figura 82. Porcentaje de la categoría “muy alta” de la FAO para la pérdida de suelo y la erosión potencial por efecto de las precipitaciones máximas para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años .....	304
Figura 83. Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp máximas para un TR de 5 años en la subcuenca de estudio.....	305
Figura 84. Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp máximas para un TR de 10 años en la subcuenca de estudio.....	306
Figura 85. Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp máximas para un TR de 25 años en la subcuenca de estudio.....	307
Figura 86. Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp máximas para un TR de 50 años en la subcuenca de estudio.....	308
Figura 87. Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp máximas para un TR de 100 años en la subcuenca de estudio.....	309

## Índice de ecuaciones

Ecuación (1). Periodo de retorno .....	45
Ecuación (2). Relación de probabilidades en el periodo de retorno .....	45
Ecuación (3). Probabilidad de superar el periodo de retorno.....	45
Ecuación (4). Probabilidad de no superar el periodo de retorno.....	45
Ecuación (5). Ecuación de Gumbel .....	46
Ecuación (6). Elementos de la ecuación de Gumbel.....	46
Ecuación (7). Ecuación de Gumbel desarrollada tipo 1 .....	46
Ecuación (8). Ecuación de Gumbel desarrollada tipo 2.....	46
Ecuación (9). Probabilidad de ser superior en el periodo de retorno .....	46
Ecuación (10). Probabilidad de ser inferior en el periodo de retorno .....	47
Ecuación (11). Función de X para Gumbel en el periodo de retorno .....	47
Ecuación (12). Ecuación de Gumbel para un determinado tiempo de retorno .....	47

Ecuación (13). Desviación estándar para una población .....	49
Ecuación (14). Desviación estándar para la muestra .....	50
Ecuación (15). Varianza.....	50
Ecuación (16). Covarianza.....	50
Ecuación (17). Coeficiente de correlación.....	51
Ecuación (18). Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE).....	53
Ecuación (19). Factor R indicado por Ramos (2001) .....	54
Ecuación (20). Factor R propuesta por Cortés.....	54
Ecuación (21). Factor R según Morgan .....	55
Ecuación (22). Factor R propuesta por Foster .....	55
Ecuación (23). Índice modificado de Fournier .....	55
Ecuación (24). 1° aproximación para el factor K .....	57
Ecuación (25). 2° aproximación para el factor K .....	57
Ecuación (26). Factor LS .....	62
Ecuación (27). Ancho medio de una cuenca.....	74
Ecuación (28). Factor de forma de una cuenca.....	75
Ecuación (29). Coeficiente de compacidad .....	76
Ecuación (30). Coeficiente de compacidad desarrollado.....	76
Ecuación (31). Altitud media de la cuenca .....	77
Ecuación (32). Pendiente media del cauce principal .....	78
Ecuación (33). Coeficiente de masividad .....	79
Ecuación (34). Lados del rectángulo equivalente .....	81
Ecuación (35). Área y perímetro del rectángulo equivalente .....	81
Ecuación (36). Índice de pendiente.....	84
Ecuación (37). Ecuación del Índice de pendiente simplificada tipo 1 .....	84
Ecuación (38). Ecuación del Índice de pendiente simplificada tipo 2 .....	84
Ecuación (39). Pendiente de la cuenca .....	85
Ecuación (40). Razón de bifurcación.....	89
Ecuación (41). Densidad de corriente o frecuencia de ríos .....	89
Ecuación (42). Coeficiente de torrencialidad.....	90
Ecuación (43). Densidad de drenaje .....	91
Ecuación (44). Extensión media de escurrimiento superficial.....	92
Ecuación (45). Ecuación para datos faltantes de Pp media - E. Chotano Lajas: 1993 .....	192
Ecuación (46). Ecuación para datos faltantes de Pp máxima - E. Chotano Lajas: 1993 .....	193



Ecuación (47). Ecuación para datos faltantes de Pp media - Estación Cutervo: 1991 .....	195
Ecuación (48). Ecuación para datos faltantes de Pp media - Estación Cutervo: 2017 .....	196
Ecuación (49). Ecuación para datos faltantes de Pp máxima - Estación Cutervo: 1991 .....	198
Ecuación (50). Ecuación para datos faltantes de Pp máxima - Estación Cutervo: 2011 .....	199
Ecuación (51). Índice modificado de Foournier para Pp máximas.....	214
Ecuación (52). Ecuación para datos faltantes de Pp media del 2016 - E. Chancay Baños....	223
Ecuación (53). Ecuación entre datos de Pp media: E. Chancay Baños y Chotano Lajas .....	229
Ecuación (54). Ecuación entre datos de Pp media: E. Quebrada Shugar y Querocotillo .....	230
Ecuación (55). Precipitación media de una cuenca .....	232
Ecuación (56). Pp media de la subcuenca para diferentes tiempos de retorno .....	233
Ecuación (57). Ecuación entre datos de Pp máxima: E. Chotano Lajas y Chugur .....	237
Ecuación (58). Ecuación entre datos de Pp máxima: E. Llama y Quebrada Shugar .....	238
Ecuación (59). Pp máxima media de la subcuenca para diferentes tiempos de retorno .....	241
Ecuación (60). Ecuación entre datos del Factor R de la Pp media: Estaciones Chugur y Cochabamba.....	245
Ecuación (61). Ecuación entre datos del Factor R de la Pp media: Estaciones Hacienda Pucara y Llama .....	246
Ecuación (62). Factor R medio de una cuenca .....	248
Ecuación (63). Factor R medio de la subcuenca para diferentes tiempos de retorno .....	249
Ecuación (64). Ecuación entre datos del Factor R de la Pp máxima: Estaciones Cochabamba y Cutervo.....	253
Ecuación (65). Ecuación entre datos del Factor R de la Pp máxima: Estaciones Cutervo y Hacienda Pucara.....	254
Ecuación (66). Factor R máximo medio de la subcuenca para diferentes tiempos de retorno .....	257
Ecuación (67). Map Algebra de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.....	287

## **Índice de mapas**

Mapa 1. Ubicación .....	72
Mapa 2. Parámetros fisiográficos .....	87
Mapa 3. Parámetros red de drenaje.....	93
Mapa 4. Distribución climática.....	99
Mapa 5. Zonas de vida .....	105

Mapa 6. Cobertura vegetal .....	121
Mapa 7. Vegetación natural .....	122
Mapa 8. Suelos.....	148
Mapa 9. Pendientes .....	155
Mapa 10. Amenazas ambientales - Desertificación.....	159
Mapa 11. Amenazas ambientales - Peligro de pérdida de suelo.....	160
Mapa 12. Amenazas ambientales - Deforestación.....	161
Mapa 13. Isoerodante para Pp medias en un tiempo de retorno de 5 años.....	261
Mapa 14. Isoerodante para Pp medias en un tiempo de retorno de 100 años.....	262
Mapa 15. Isoerodante para Pp máximas en un tiempo de retorno de 5 años.....	263
Mapa 16. Isoerodante para Pp máximas en un tiempo de retorno de 100 años.....	264
Mapa 17. Factor de erodabilidad K.....	265
Mapa 18. Factor topográfico LS .....	268
Mapa 19. Factor de cobertura vegetal C .....	271
Mapa 20. Pérdida de suelos para Pp medias en un tiempo de retorno de 5 años.....	297
Mapa 21. Pérdida de suelos para Pp medias en un tiempo de retorno de 100 años.....	298
Mapa 22. Erosión potencial para Pp medias en un tiempo de retorno de 5 años.....	299
Mapa 23. Erosión potencial para Pp medias en un tiempo de retorno de 100 años.....	300
Mapa 24. Pérdida de suelos para Pp máximas en un tiempo de retorno de 5 años.....	310
Mapa 25. Pérdida de suelos para Pp máximas en un tiempo de retorno de 100 años.....	311
Mapa 26. Erosión potencial para Pp máximas en un tiempo de retorno de 5 años .....	312
Mapa 27. Erosión potencial para Pp máximas en un tiempo de retorno de 100 años .....	313

## Resumen

El presente trabajo de investigación plantea como objetivo calcular la pérdida anual del suelo por efecto de la erosión hídrica de las precipitaciones y determinar el área de erosión para diferentes tiempos de retorno en la subcuenca del río Chotano. La investigación se basa en el método empírico empleando la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) formulada por Walter Wischmeier y Dwight Smith, y la técnica del sistema de información geográfica (SIG) mediante el programa *ArcGis* elaborado por la *Environmental Systems Research Institute (ESRI)* con la finalidad de crear herramientas de identificación de áreas vulnerables y control ambiental para las autoridades competentes. Se realiza el análisis y la estimación de los mapas temáticos de los factores que componen la ecuación USLE para la superposición cartográfica: Mapas de erosividad (R), erodabilidad (K), factor topográfico (LS), cobertura vegetal (C) y prácticas de conservación de suelo (P). Determinando que la pérdida anual del suelo por precipitaciones medias para la subcuenca de estudio presenta valores máximos de 26,57 ton/ha/año a 46,06 ton/ha/año; y la pérdida por precipitaciones máximas es de 87,41 ton/ha/año a 152,86 ton/ha/año para tiempos de retorno de 5 a 100 años. Al respecto, la pérdida de suelo por precipitaciones medias se clasifica según la *Food and Agriculture Organization (FAO)* en ninguna o ligera (0 - 10 ton/ha/año) en el 95,17% a 79,70% del área y moderada (10 - 50 ton/ha/año) en el 4,83 % a 20,30% para tiempos de retorno de 5 a 100 años. Y para las precipitaciones máximas se clasifica en ninguna o ligera en el 55,39% a 32,21% del área, moderada en el 42,33 % a 63,68% y alta (50 - 200 ton/ha/año) en el 2,28% a 4,11% para tiempos de retorno de 5 a 100 años.

**Palabras clave:** *Erosión Hídrica, erosividad, erodabilidad, precipitación máxima, pérdida de suelo, USLE, SIG.*

## Abstract

The objective of this research work is to calculate the annual loss of soil due to the effect of water erosion from rainfall and to determine the erosion area for different return times in the Chotano river sub-basin. The research is based on the empirical method using the Universal Soil Loss Equation (USLE) formulated by Walter Wischmeier and Dwight Smith, and the geographic information system (GIS) technique using the ArcGis program developed by the Environmental Systems Research Institute (ESRI) in order to create tools for the identification of vulnerable areas and environmental control for the competent authorities. The analysis and estimation of the thematic maps of the factors that make up the USLE equation for cartographic overlay is carried out: Maps of erosivity (R), erodibility (K), topographic factor (LS), vegetation cover (C) and soil conservation practices (P). Determining that the annual loss of soil due to average rainfall for the study sub-basin presents maximum values of 26,57 ton/ha/year to 46,06 ton/ha/year; and the loss due to maximum rainfall is from 87,41 ton/ha/year to 152,86 ton/ha/year for return times of 5 to 100 years. In this regard, the loss of soil due to average rainfall is classified according to the Food and Agriculture Organization (FAO) as none or light (0 - 10 ton/ha/year) in 95,17% to 79,70% of the area and moderate (10 - 50 ton/ha/year) in 4,83% to 20,30% for return times of 5 to 100 years. And for the maximum rainfall it is classified as none or light in 55,39% to 32,21% of the area, moderate in 42,33% to 63,68% and high (50 - 200 ton/ha/year) in 2,28% to 4,11% for return times of 5 to 100 years.

**Keywords:** *Water erosion, erosivity, erodibility, maximum precipitation, soil loss, USLE, GIS.*

## I. INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (*Food and Agriculture Organization* - FAO) define la erosión como la pérdida de suelo causado por uno o varios factores incluyendo actividades antrópicas, al respecto, la erosión hídrica es el proceso por el cual las gotas de lluvia impactan en el suelo y disgregan las partículas de éste; la magnitud con que ocurre el fenómeno de erosión depende del tamaño y la velocidad de las gotas de lluvia. (Goñas, 2017)

El presente trabajo de investigación permite identificar y evaluar los factores que favorecen e incrementan la erosión hídrica, tales como la precipitación, el tipo de suelo afectado, el papel de protección de la cobertura vegetal, la pendiente del terreno y la presencia o ausencia de prácticas de conservación de suelos. Para ello se utiliza el método de la Ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) y la técnica del Sistema de Información Geográfica (SIG) mediante el *software ArcGis* para delimitar la subcuenca de estudio y obtener como resultado tablas alfanuméricas y mapas temáticos. Lo cual permite identificar y clasificar las áreas de pérdida de suelo y erosión potencial mediante la categorización de la FAO sobre la degradación del suelo causada por la erosión.

La delimitación de la subcuenca de estudio se realiza a través de las curvas de nivel de la carta nacional del Instituto Geográfico Nacional (IGN), la delimitación de la cuenca hidrográfica Chamaya y el uso de las herramientas del *ArcHydro* del *software ArcGis*; para el método USLE se constituyen y se reclasifican los mapas temáticos de los factores de erosividad (R), erodabilidad (K), topográfico (LS), cobertura vegetal (C) y de conservación de suelos (P); asimismo, mediante la superposición cartográfica, con la función de la herramienta *Map algebra* del *software ArcGis*, se obtienen los mapas de pérdida de suelos y erosión potencial para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.

La estructura del presente trabajo de investigación posee 8 capítulos; en el Capítulo I se describen los aspectos metodológicos tales como antecedentes, descripción y formulación del problema, objetivo general y específico, las variables para cada objetivo, la justificación e importancia del presente estudio.

En el Capítulo II se describe el marco teórico basado en el concepto de erosión hídrica y sus factores, la cuenca hidrográfica, la ecuación del método USLE y la técnica SIG, en el Capítulo III se detallan los materiales, equipos y el método a desarrollar el cual es empírico de diseño no experimental de tipo transeccional, a un nivel de investigación correlacional y descriptiva. En el Capítulo IV se presentan las características generales de la subcuenca del río Chotano, determinando su ubicación, la accesibilidad y su diagnóstico físico (parámetros fisiográficos, red de drenaje, clima, zonas de vida, cobertura vegetal, suelos, pendientes, entre otros).

En el Capítulo V se realiza el análisis de correlación y estimación de datos para cada estación meteorológica, la determinación del factor R mediante el índice modificado de Fournier, el análisis de correlación regional y la estimación de datos para todas las estaciones de la subcuenca de estudio; para finalmente determinar las precipitaciones y su factor de erosividad en tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.

En el Capítulo VI se determinan los factores de la ecuación del método USLE para luego obtener la pérdida anual de suelo y su erosión potencial por efecto de las precipitaciones medias y máximas. En el Capítulo VII se lleva a cabo la discusión de los resultados obtenidos en el Capítulo VI.

Finalmente, en el Capítulo VIII se desarrolla las conclusiones para cada objetivo y las recomendaciones propuestas en el presente trabajo de investigación.

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

### ***1.1.1. Descripción del Problema***

En el Perú, los factores climatológicos (temperatura, humedad, etc.) en los diferentes pisos altitudinales, así como las condiciones físicas (vegetación, tipo de suelo, pendiente del terreno, etc.), y las actividades antrópicas (uso inadecuado de los recursos, la sobreexplotación de los suelos, sobrepastoreo, entre otros) producen una susceptibilidad al proceso de erosión hídrica por parte de las precipitaciones incidiendo en la baja producción agrícola.

La sierra peruana posee un relieve muy accidentado con pendientes que van desde planos hasta extremadamente empinados, favoreciendo la intensidad de erosión de los suelos por las precipitaciones; asimismo, en Cajamarca, departamento donde se ubica la subcuenca de estudio, existen posibles amenazas ambientales como la deforestación así como el desarrollo intensivo de la actividad agropecuaria en los pastos de la zona, han desprovisto al suelo de sujeción natural que le ofrece la cubierta vegetal generando un proceso de moderado a severo de desertificación, acelerando los procesos erosivos y ocasionando un peligro de alto a muy alto de la pérdida de suelos en la mayoría de su superficie.

De esta manera los suelos vienen siendo cada vez más vulnerables por la intervención de diversos factores naturales y humanos, ocasionando fuertes problemas de degradación y generando conflictos socio políticos y económicos sobre el uso sostenible y racional del suelo; sumado a esto, los problemas serios de deforestación y sobrepastoreo de la región Cajamarca avizoran una fuerte tendencia a la erosión, desertificación y peligro a la degradación de los mismos suelos.

Todas estas amenazas ambientales no pueden ser controladas adecuadamente si no son visibles o no se representan en un documento en el cual se puedan observar las zonas críticas o susceptibles a la erosión hídrica y en donde se producen las mayores pérdidas de

suelos, de esta manera se tomarían medidas de control y manejo adecuado, priorizando las áreas donde la pérdida de suelos sea grave o donde se presente una mayor erosión potencial.

Por consiguiente, el trabajo tiene como objetivo evaluar la erosión hídrica por efecto de las precipitaciones y su erosión potencial en la subcuenca perteneciente al río Chotano de la cuenca Chamaya, con la finalidad de dar a conocer esta información a las autoridades competentes tanto a nivel de gobierno regional como provincial, para que puedan ser utilizadas a futuro como herramientas de gestión y control ambiental.

### ***1.1.2. Formulación del Problema***

#### **1.1.2.1. Problema Principal**

¿Cómo se puede evaluar la pérdida anual del suelo por efecto de las precipitaciones en la subcuenca del río Chotano de la cuenca Chamaya para diferentes tiempos de retorno?

#### **1.1.2.2. Problemas Secundarios**

¿Cómo influyen las precipitaciones máximas para diferentes tiempos de retorno en la pérdida anual de los suelos y en la erosión potencial en la subcuenca de estudio?

¿Cómo se puede calcular la erosión potencial para las precipitaciones en la subcuenca de estudio?

¿De qué manera se puede identificar espacialmente las zonas de erosión hídrica y erosión potencial?



## 1.2. Antecedentes

A nivel internacional, la preocupación por la degradación del suelo proviene principalmente de los productores y se le atribuye, en general, una escasa atención e importancia (Cotler, 2007).

Las primeras investigaciones científicas sobre la erosión fueron llevadas a cabo por el edafólogo alemán Wollny, entre 1877 y 1895, utilizando pequeñas parcelas para medir una variedad de efectos, como el papel de la vegetación en la intercepción de la lluvia y en el deterioro de la estructura, así como los efectos que ejercen el tipo de suelo y la pendiente (Hudson, 2006).

### 1.2.1. En el contexto nacional

Agama (2022) estima los factores que influyen en la pérdida de suelo mediante la Ecuación Universal de Erosión del Suelo (USLE) y modelamiento geoespacial en la microcuenca San Alberto del distrito de Oxapampa, aplicando técnicas SIG y teledetección, determinando una erosión potencial de 0,03204 a 3 109,79 TM/ha/año y una erosión real de 0,3204 a 176,3826 TM/ha/año para la microcuenca San Alberto.

Chacchi (2021) evalúa la erosión hídrica media anual en la unidad hidrográfica del río Seco, Tarma, en Junín, mediante el método de la ecuación USLE y el uso de la herramienta “*ráster calculator*” del *Software* ArcGis 10,4. Determinando que, la unidad hidrográfica del río Seco presenta erosión nula o ligera en el 0,93 % del área, moderada en el 11,15 %, alta en el 30,25 % y muy alta en el 57,67 % restante.

Cruz y Zurita (2021) determinan los niveles de erosión hídrica aplicando el sistema de información geográfica en el distrito de Yanaoca en Cusco, mediante el método de USLE revisado y el uso del *software* ArcGis 10,5 y el *software* Qgis 3,14; teniendo como resultado que el nivel de erosión hídrica es de tipo Normal, Ligera, Moderada, severa, muy severa y

catastrófica, en un 8,06%, 21,31%, 3,36%, 18,73%, 12,70% y 35,84% respectivamente. Asimismo, la erosión potencial fue de tipo normal, ligera, moderada, severa, muy severa y catastrófica resaltando la de tipo Catastrófica en un 48,01% del área.

Suyon y Moreno (2020) determinan el nivel de la erosión hídrica en la cuenca Jequetepeque para un periodo de 1997 a 2017, mediante el método de USLE revisado para cuantificar su valor y el uso del SIG para representarlos espacialmente; teniendo como resultado que el nivel de erosión hídrica actual es de tipo normal (42%), ligera (12%), moderada (11%), severa (24%), muy severa (11%) y catastrófica (0,09%).

Puerta (2018) estima la pérdida de suelo por erosión hídrica usando la ecuación USLE en la subcuenca chinata en Amazonas; aplicando también la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica, determina que, la pérdida de suelo en la subcuenca Chinata es de 8, 891 ton/ha/año que afecta al 5,41% del área y que el 93,85 % restante presenta erosión de tipo ligera, con una pérdida inferior a 10 ton/ha/año.

Goñas (2017) evalúa la pérdida de suelo por erosión hídrica en dos sistemas de producción de pastos en el distrito de Pomacochas - Amazonas, determinando que para un total de 48 muestras, recolectadas de octubre de 2015 a setiembre de 2016 en áreas de 18 m<sup>2</sup>, el sistema de producción a campo abierto obtuvo las mayores pérdidas de suelo con 968 kg/ha/año en comparación al sistema silvopastoril cuyo valor fue de 585,1 kg/ha/año, ambas parcelas fueron evaluadas para una precipitación anual de 1305,4 mm, determinando así, que esta diferencia de pérdida de suelo fue influenciado por el tipo de cobertura en cada uno de los sistemas productivos, el cual estuvo ejerciendo resistencia al arrastre de las partículas de suelo.

Colque (2015) categoriza la erosión hídrica en la microcuenca de Ranrahirca aplicando la Ecuación USLE en Ancash, determinando cuatro categorías de pérdida de suelo:

la categoría ninguna a ligera (< 10 Ton/ha/año) con un porcentaje de 73.82% (10 676 ha), la categoría moderada (10 - 50 Ton/ha/año) con un porcentaje de 8.25% (1 193 ha), la categoría alta (50- 200 Ton/ha/año) con un porcentaje de 9.69% (1 402 ha) y la categoría muy alta (> 200 Ton/ha/año) con un porcentaje de 8.24% (1 191 ha).

Camacho (2012) analiza las condiciones de la subcuenca Cumbaza en San Martín, para evaluar la erosión hídrica por efecto de la precipitaciones máximas utilizando el método USLE y la técnica de SIG, logrando determinar la erosión mediante dos análisis, el primero a manera general de subcuenca alta, media y baja obteniendo valores de 52, 57, 69, 78 y 87 ton/ha/año; y en un segundo análisis se evaluaron por área de vulnerabilidad erosiva de la subcuenca dividiéndose en 13 áreas con lo cual se obtuvieron valores de 18,6; 19,1; 23,7; 26,9 y 29,9 ton/ha/año; ambos análisis para un tiempo de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años variando las tasas de erosión entre muy baja, baja y moderada para los diferentes tiempos de retorno mencionados.

Tapia (2011) determina como objetivo la cuantificación de la tasa de erosión hídrica superficial en las laderas de la sierra alto-andina y el efecto relacionado con la operatividad de las zanjas de infiltración en el control de la erosión; contribuyendo a la lucha contra la desertificación, la regeneración de la cubierta vegetal y la biodiversidad en general.

Vásquez y Tapia (2011) realizan un trabajo de investigación en las laderas semiáridas de la sierra peruana, sobre la conservación de suelos en 22 microcuencas alto andinas de 12 regiones del país, con la finalidad de cuantificar la pérdida de suelo por erosión hídrica y el efecto de la construcción de zanjas de infiltración en el control de la misma. Los resultados muestran que la tasa media de erosión en las laderas de la sierra es de 45,04 ton/ha-año para pendientes de ladera entre los 18% al 40%. Por otro lado, las laderas de la sierra tratadas con

zanjas de infiltración son del orden de las 24,44 ton/ha-año, observándose una reducción de la pérdida de suelo en 20,60 ton/ha-año.

Roncal (2006) comparó y evaluó la escorrentía superficial y la erosión hídrica en dos microcuencas, una con cobertura de pastos y la otra con plantaciones forestales, en la zona de Porcon - Cajamarca, determinando la eficiencia de la vegetación en el control de la erosión y que tipo de vegetación es la adecuada para la conservación del suelo, obteniendo como resultado que la pérdida del suelo cubierta con pastos (10,2 a 17,4 Ton/ha) es mayor que una microcuenca con cobertura forestal (2,9 a 5,7 ton/ha).

Ramos (2001) estima la tasa de erosión de suelos en la cuenca media y alta del río Cañete, basado en la ecuación USLE a partir de los datos del SIG. Los resultados obtenidos determinan que solo el 15,13% de la cuenca no presenta problemas graves de erosión, y el 84,87% (unos 374 788,78 km<sup>2</sup>) tienen pérdidas importantes de suelo. En todos los casos, son zonas sometidas a explotación agropecuaria intensiva, a un sobrepastoreo intenso, estando ubicados en zonas muy frágiles, sumado a ello la deforestación de los árboles nativos. Suelen estar dominadas por pendientes fuertes y presentan litologías o recubrimientos favorables al desmantelamiento erosivo. En situaciones alarmantes se encuentran solo el 54,24% de la cuenca 231 843,050Km<sup>2</sup> (erosión crítica).

Ormachea (1991) en Dantas - Huánuco, evalúa y determina que cuando la cubierta forestal de una microcuenca es reemplazada por una de tipo agrícola, las áreas de fuentes variables de aporte de sedimento presentan una mayor disponibilidad de material removible y transportable creándose condiciones que pueden originar mayores pérdidas de suelo. Durante el periodo de observación, la producción de sedimento en las microcuencas bajo uso agrícola fue de 0,107 ton/ha y 0,08 Ton/ha; y para las que se encuentran bajo uso forestal fueron de 0,061 ton/ha y 0,02 Ton/ha.

### ***1.2.2. En el contexto internacional***

Rengifo, Muñoz y Toro (2022) emplearon el modelo USLE para estimar la erosión hídrica en siete municipios de la zona andina colombiana utilizando el *software* ArcGis 10,3 y sus diferentes herramientas para crear mapas temáticos de erosión. Obteniendo como resultado que, en valles interandinos, la erosión hídrica del suelo fue moderada en el 2 % del municipio de Mercaderes, con pérdidas entre 10 y 50 ton/ha/año, al igual que en el 15,3 % de la superficie de Santander de Quilichao. En la zona subandina se presentó erosión moderada en el 7 % de la superficie de Popayán, en el 10,5 % de Cajibío y en el 4 % del municipio de Bolívar. Por su parte, la zona altoandina presentó una erosión moderada en el 2 % del municipio de Puracé y en el 2,55 % de Almaguer.

Chitalogro y Llamatumbi (2021) estimaron cuantitativamente la erosión hídrica del suelo en la microcuenca del río Chibunga en Riobamba, Ecuador, mediante la aplicación del modelo USLE y la técnica del SIG, identificando que el grado de erosión hídrica predominante en la microcuenca del río Chibunga es ligera y moderada en el 30,47% y 46,17% del área de estudio respectivamente.

Escobar (2019) estima la erosión hídrica en la zona semiárida del norte chileno mediante la ecuación USLE en la comuna de Punitaqui (Región de Coquimbo). Obteniendo como resultado que, en promedio, en la zona se generan pérdidas de suelo de 22,40 ton/ha/año. Asimismo, la erosión hídrica potencial que refleja las pérdidas de suelo por erosión laminar y de surcos que se producirían en caso de mantenerse en el tiempo las condiciones de los factores R, LS y K en ausencia de la capa protectora vegetal (factor C), en promedio correspondería a 26,11 ton/ha/año.

Hernández (2010) estima la tasa de erosión hídrica en la Línea de Tendido Eléctrico (L.T.E.) la Ventosa-Juile, para el tramo correspondiente al estado de Oaxaca, mediante la

ecuación USLE. Determinando que el total del área afectada por la construcción de la L.T.E. es de 186, 84 ha, calculando una tasa de erosión actual en promedio de 21,55 ton/ha/año para 173 polígonos o áreas de estudio, donde 135 se encuentran por debajo del promedio alcanzando 20, 80 ton/ha/año y 38 se encuentran por encima del promedio alcanzando hasta 310,570 ton/ha/año.

Vanesa (2010) determina la erosión hídrica de los suelos de la cuenca del Río Pilcomayo en Salta - Argentina, mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE), concluyendo que la erosión actual nula o ligera es la que ocupa la mayor superficie de la cuenca cuyos valores máximos llegan a una erosión moderada y alta en pendientes mayores a 5%. En cuanto a la Erosión Potencial planteada en una situación eventos climáticos máximos, se observó que las superficies de la cuenca fueron afectadas de forma importante agravando considerablemente el escenario con erosión muy alta en pendientes mayores al 5%.

Muñoz (2006) determina que el 100% de la superficie de la microcuenca de San Pedro Huimilpan en Querétaro - México, presenta en mayor o menor grado problemas de erosión hídrica, siendo la forma en surcos la que ocupa el 45,8% de la superficie de la microcuenca. Concluyendo que la causa principal son diversos factores entre los que se encuentran el cambio de uso de suelo para fines agrícolas, el aprovechamiento forestal clandestino, la siembra de cultivos en condiciones no aptas para ello, los incendios forestales y el sobrepastoreo de una ganadería extensiva; asimismo, observó que los niveles de afectación que existen en esta zona preocupan a los dueños de los terrenos encontrándose diversas formas de tratar de contrarrestar el problema erosivo, desde presas con ramas y residuos domésticos, hasta gaviones de gran tamaño y presas de piedra acomodada de diversos diseños.

Rodríguez, Florentino, Gallardo y García (2004) evalúan la erosión hídrica de los suelos de un área de la Provincia de Badajoz - España, con la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo. Determinando pérdidas de suelos inferiores a 25 Mg/ha/año en el 79,8% de la superficie. La aplicación de la ecuación muestra que el 53% de la zona de estudio presenta una tasa de erosión de 10 Mg/ha/año. La superficie que corresponde a Sierras y Montes (27%), tiene una tasa de erosión entre 10 y 25 Mg/ha/año; el 20% restantes corresponde a pérdidas por erosión mayores de 25 Mg/ha/año. El empleo del SIG demostró la utilidad de esta tecnología en el análisis, evaluación y representación de la distribución espacial de la erosión hídrica de estos suelos ( $\text{Mg} = 10^6 \text{ gr} < > 1\text{Ton}$ ).

Montesinos (2002) considera el desarrollo de una metodología basada en las técnicas de tratamiento digital y en los *Geographical Information Systems* (GIS), aplicadas a los datos aportados por los sensores del tipo *Thematic Mapper* (TM) y *High Resolution Visible* (HRV) a bordo de los satélites Landsat y SPOT, respectivamente, para el control y seguimiento de los procesos erosivos en el área mediterránea. Teniendo como propósito ensayar la clasificación mediante sus características erosivas un territorio de gran extensión siendo esta información básica para la adecuada planificación y gestión del territorio.

Pérez (2001) evalúa la degradación de los suelos por la erosión hídrica en el territorio colombiano a escala 1:1500000, mediante la elaboración de un modelo que utiliza los sistemas de información geográfica, para hacer el adecuado seguimiento de la pérdida de suelo en Colombia. Los resultados obtenidos a partir del análisis espacial determinan las zonas más afectadas por erosión hídrica, cuyos valores de pérdida de suelo varían entre 1,66 y 426 Ton/ha/año y son agrupados en intervalos de degradación, los cuales permitan localizar e identificar las zonas de máximo riesgo.

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo general***

Evaluar la pérdida anual del suelo por efecto de las precipitaciones mediante el método USLE en la subcuenca del río Chotano de la cuenca Chamaya para diferentes tiempos de retorno.

#### ***1.3.2. Objetivos específicos***

Determinar para diferentes tiempos de retorno cómo afecta las precipitaciones máximas en la pérdida anual del suelo mediante el método USLE.

Calcular la erosión potencial de suelos mediante el método USLE para las precipitaciones en la subcuenca de estudio.

Identificar las zonas de erosión hídrica y las zonas de erosión potencial mediante la técnica del SIG.

### **1.4. Justificación**

La pérdida de suelo, la disminución de la fertilidad por remoción de la capa orgánica y el aumento del proceso de desertificación, está ligado a diversos factores como las prácticas agrícolas inadecuadas, el uso no sostenible del suelo, la escasa cobertura vegetal debido a la deforestación, al sobre pastoreo y a la presencia de esporádicas lluvias pero de alta intensidad; estos factores junto a la baja profundidad de la mayoría de los suelos agrícolas que conforma gran parte de la subcuenca del río Chotano, dejan a los suelos vulnerables a efectos de la erosión hídrica y su posterior degradación, lo cual genera un problema socioeconómico y ambiental para esta región.



La falta de información sobre la evaluación de la erosión hídrica no permite que se tome conciencia de la magnitud del problema que representa la degradación de los suelos y su impacto socioambiental; a fin de que se pueda tener un adecuado control y adoptar medidas para frenar este proceso que favorece la desertificación y poder buscar la regeneración de dichas áreas, es necesario conocer estudios relacionados a la evaluación de la erosión hídrica que determinan la pérdida de suelos y su erosión potencial por efecto de las precipitaciones.

Al respecto, el presente trabajo de investigación busca aportar nuevos conocimientos científicos sobre la evaluación de la erosión hídrica por efecto de las precipitaciones en la subcuenca del río Chotano perteneciente a la cuenca Chamaya de la región Cajamarca, la cual debe supeditarse a la clasificación de la degradación de suelos propuesto por la FAO.

De esta manera, se busca aportar conocimientos sobre la medición de la erosión hídrica superficial en la zona y priorizar las áreas más vulnerables a la pérdida de suelos para controlar y adoptar prácticas de cultivo y de producción que conserven adecuadamente el suelo para evitar la erosión producto del impacto de las gotas de lluvia y el escurrimiento.

Por consiguiente, el presente estudio permite aportar información sobre el cálculo de la pérdida anual de suelos por el método USLE y determinar e identificar las zonas más vulnerables a ser erosionadas por el método SIG, para que luego las autoridades competentes a nivel regional o local puedan plantear posibles soluciones y propuestas para la conservación de los suelos, en este caso, pertenecientes a la subcuenca de estudio de la cuenca Chamaya, a fin de que se pueda replicar este estudio en otras zonas como una herramienta de análisis sobre la pérdida de suelos e identificación de áreas vulnerables y control ambiental, para generar información sobre la evaluación de la erosión hídrica por efecto de las precipitaciones e identificar las áreas más afectadas para priorizar su recuperación.

Finalmente, los resultados al término del trabajo de investigación, considerando la muestra e instrumentos en base a la metodología aplica, servirán como aporte a todas las gestiones ediles que involucren plantear posibles soluciones y propuestas para la conservación de los suelos pertenecientes a las cuencas y subcuencas hidrográficas.

#### ***1.4.1. Importancia***

Es necesario conocer las zonas críticas o susceptibles a la pérdida de suelos para implementar prácticas de manejo y conservación de suelos, principalmente en las áreas más vulnerables a ser erosionadas donde la pérdida de suelos sean graves, para un correcto control de la erosión hídrica y su uso sostenible; de esta manera se busca disminuir los problemas de deforestación y sobrepastoreo que junto a un fuerte fenómeno erosivo, avizoran una tendencia a la desertificación y peligro a la degradación de los suelos.

Un ejemplo para el control de la erosión hídrica es el método agroforestería que consiste en reforestar el área que ha sido expuesta a la erosión hídrica, en donde se toman una o dos especies nativas de la zona y se siembra cada especie a una distancia determinada, con la finalidad de disminuir el impacto de las precipitaciones al suelo y reducir la velocidad del agua de escorrentía, minimizando su poder erosivo y evitando su crecimiento en profundidad y anchura debido al arrastre de las partículas del suelo.

De esta manera, el presente trabajo de investigación busca aportar conocimientos sobre la evaluación de la erosión hídrica a las autoridades competentes tanto a nivel de gobierno regional como provincia, calculando la pérdida anual de suelos e identificando las zonas más vulnerables a ser erosionadas en la subcuenca del río Chotano, a su vez, esta investigación se puede replicar a otras zonas de estudio como una herramienta de identificación de áreas vulnerables y control ambiental ante problemas de erosión hídrica.

## **1.5. Hipótesis**

### ***1.5.1. Hipótesis general***

El método USLE permite evaluar la pérdida anual del suelo producida por la erosión hídrica de las precipitaciones para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.

### ***1.5.2. Hipótesis específicas***

Mientras mayor sea el tiempo de retorno analizado, mayor será la precipitación y su pérdida anual de suelos calculados por el método USLE.

El método USLE permite calcular la erosión potencial del suelo para las precipitaciones en la subcuenca de estudio.

El método SIG permite identificar espacialmente las zonas de erosión hídrica y las zonas de erosión potencial en la subcuenca de estudio.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación

#### 2.1.1. Cuenca hidrográfica

La cuenca es el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación se unen para formar un solo curso de agua, de esta manera, se tiene una cuenca bien definida para cada punto de su recorrido. La delimitación de una cuenca se hace en base a una línea imaginaria siguiendo las líneas del *divortium acuarum* (parteaguas), que divide a las cuencas adyacentes y distribuye el escurrimiento originado por la precipitación que fluye hacia el punto de salida de la cuenca. (Villón, 2002)

#### 2.1.2. Suelo

**2.1.2.1. Concepto de suelo.** El suelo es un cuerpo natural que ocupa un espacio finito y puntual en la superficie terrestre, es totalmente dinámico, tridimensional e independiente, formado por la interacción de los factores de formación como el clima, el material parental o roca madre, los organismos y el tiempo. El suelo está constituido por sustancias que se encuentran en estado sólido, líquido y gaseoso. (Poma y Alcántara, 2010-2011)

La fase sólida proporciona a las plantas soporte y nutrientes, formada por la materia orgánica, producto de la descomposición de seres vivos, y por la materia inorgánica o minerales formado por la descomposición del material parental. La fase líquida está representada por el agua que facilita la nutrición mineral de las plantas y la fase gaseosa proporciona el oxígeno para la respiración de los microorganismos, devolviendo el CO<sub>2</sub> que posteriormente interviene en el proceso de la fotosíntesis. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p. 6-7)

El suelo está constituido por cuatro componentes principales que son: materia mineral, materia orgánica, agua y aire, los cuales al encontrarse íntimamente mezclados es muy difícil su separación. Un suelo con sus mejores condiciones para el cultivo contiene 45% de fracción mineral, 5% de materia orgánica, 25% de una fase gaseosa y de 25% de una fase líquida. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p. 7)

**2.1.2.2. Clasificación natural de los suelos.** La Clasificación de los suelos sobre bases puramente pedológicas conforma el agrupamiento fundamental, científico y natural del recurso suelo. Existen varios sistemas de clasificación de suelos que generalmente se basan en la morfología y la génesis (origen); es decir, en base a sus características físico-químicas y biológicas, así como por la presencia de distintos horizontes del perfil. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p. 7)

**Tabla 1**

*Clasificación natural de los suelos.*

<b>Soil Taxonomy (2006)</b>		<b>FAO (2006)</b>
<b>Orden</b>	<b>Gran grupo</b>	<b>Unidad</b>
<b>Andisols</b>	Haplustands	Andosoles
	Haplocryands	Paramo andosol
		Paramosol
<b>Aridisols</b>	Calcargids	Xerosol
<b>Entisols</b>	Ustifluvents	Fluvisoles
	Ustorthents	Regosoles
<b>Inceptisols</b>	Cryaquepts	Cambisoles
	Humitropepts	Leptosoles
<b>Mollisols</b>	Argiudolls	Kastanozem
		Phaeozems
	Calciustolls	Rendzinas
<b>Vertisolls</b>	Dystraquerts	Vertisoles

Nota. Adaptado del *Estudio de suelos y capacidad de uso mayor del departamento de Cajamarca - Perú*, de Poma y Alcántara; 2010-2011.

### **2.1.3. Conceptos de erosión de suelos y erosión hídrica**

**2.1.3.1. Erosión de suelos.** Según Hernández (2010), la erosión del suelo es un tema de gran importancia por lo cual se han originado diferentes acepciones del concepto, refiriéndose a algunas como las siguientes:

a) La erosión del suelo es la remoción del material superficial por acción del viento o del agua.

b) La erosión de los suelos por acción del agua es más activa donde la precipitación no se puede infiltrar en el suelo y fluye sobre la superficie, el agua al poseer una velocidad relativamente rápida es capaz de arrancar materiales del suelo, al mismo tiempo solo se está en contacto con la superficie del suelo durante una hora o dos y no durante los días que se necesitan para recoger una cantidad apreciable de material disuelto, asimismo, donde el flujo superficial es dominante la erosión del suelo por el agua probablemente será el proceso principal de desgaste. Como el agua puede fluir en grandes cantidades sobre la superficie y ejercer fuerzas hidráulicas grandes, se deduce que la erosión del suelo a menudo actúa catastróficamente con pendientes moderadas.

c) Erosión: Es el proceso físico que consiste en el desprendimiento y arrastre de los materiales del suelo por los agentes del intemperismo. (p. 8-9)

Hernández (2010), señala que el problema más grave causado por la erosión es la pérdida irreversible del recurso suelo, afectando de varias formas como:

- Adelgazamiento y pérdida paulatina de la fertilidad del suelo.
- Endurecimiento del suelo y aparición de grava o rocas

- Formación de grietas por las que escurre el agua hasta transformarlas en cárcavas.
- Disminución de la productividad agrícola.
- Al compactarse el suelo y desaparecer la vegetación el agua deja de infiltrarse.
- Disminución de los acuíferos al no infiltrarse el agua a capas profundas.
- Pérdida de capacidad de retención de agua.
- Los efectos sociales de todos estos daños, son graves: pobreza y migración por mencionar algunas. (p. 10)

**2.1.3.2. Erosión hídrica.** Es el proceso de transporte y disgregación de las partículas del suelo por acción del agua. Es un fenómeno natural y lento, pero ha sido acelerado como consecuencia de las actividades de uso intensivo de las tierras agrícolas y al manejo inadecuado. (*Food and Agriculture Organization* [FAO], 1990)

Según Hernández (2010), es un proceso físico que consiste en el desprendimiento, transporte y depositación de las partículas del suelo por efectos de la acción del agua; cuando las pérdidas se dan en condiciones naturales se presenta la erosión geológica natural, pero cuando las pérdidas son causadas por la acción del hombre se presenta la erosión acelerada.

Los procesos de erosión hídrica guardan relación a sus ciclos hidrológicos, es decir, las rutas que sigue el agua en su paso a través de la cobertura vegetal y su movimiento sobre la superficie del suelo. (Morgan, 1997, citado en Hernández, 2010)

Becerra (2005, citado en Hernández, 2010) indica que la erosión es un proceso complejo en el cual intervienen diversos factores, los cuales para el caso de la erosión hídrica han sido agrupados por FAO de la siguiente manera:

- Climáticos. Expresados por la agresividad de la lluvia para erosionar.
- Edáficos. Determinada por la susceptibilidad del suelo para ser erosionado.

- Topográficos. Relacionados a la longitud, forma y pendiente del terreno.
- Humanos. Determinado por su interacción y efectos sobre la cubierta vegetal, alterando el tipo de vegetación, las condiciones de superficie del terreno entre otras.

El agua erosiona al suelo como agente activo de dos maneras: por el impacto de la lluvia y por la fricción del escurrimiento superficial sobre la pendiente del terreno, este proceso se agrava cuando el hombre interviene y provoca el deterioro de la cobertura vegetal. (Becerra, 2005)

#### ***2.1.4. Tipos de erosión hídrica***

**2.1.4.1. Erosión por salpicadura.** Es producida por el golpe de las gotas de lluvia al caer sobre el suelo. El agua de lluvia ejerce su acción erosiva sobre el suelo mediante el impacto de las gotas, las cuales caen con velocidad y energía variable según sea su diámetro. Es el primer fenómeno que se presenta en cualquier caso de erosión hídrica. (Goñaz, 2017, p. 9)

**2.1.4.2. Erosión por escurrimiento o escorrentía.** Goñaz (2017), señala que, cuando el agua de lluvia no alcanza a infiltrarse en el suelo fluye por la pendiente de la superficie del terreno desprendiendo y arrastrando el suelo. Según sea la pendiente, la cantidad de agua y la clase de suelo, se presentan diferentes formas de erosión:

- Escurrimiento difuso
- Erosión laminar
- Erosión de surcos
- Erosión en cárcavas
- Erosión regresiva o remontante (p. 9)



**2.1.4.3. Remoción en masa.** Goñaz (2017), señala que, es un movimiento de una masa de suelo, causado por la infiltración del agua y la acción de la gravedad. Puede ser de flujo lento o de flujo rápido. Las principales formas de este fenómeno son:

- Deslizamientos
- Derrumbes
- Coladas de barro
- Solifluxión
- Hundimientos
- Desprendimientos y desplomes (p. 10)

#### ***2.1.5. Factores que originan la erosión hídrica***

Vanesa (2010), señala que, los factores climáticos tienen un rol importante en la erosión hídrica, siendo las precipitaciones el elemento desencadenante del proceso erosivo. Cuando la intensidad o el volumen de la lluvia son altos superando la velocidad de infiltración del suelo, se genera escurrimiento y consecuentemente la erosión. (p. 60)

Algunas características del suelo como la textura, capacidad de infiltración, entre otras, afectan su erosionabilidad. En la erosión por impacto es importante la estabilidad de los agregados del suelo y en la erosión por escurrimiento influyen la capacidad de infiltración y la textura. En los suelos de texturas gruesas, los valores de infiltración se mantienen altos y por lo tanto el escurrimiento es menor que en los suelos de texturas finas, que resultan más expuestos a la erosión. (Vanesa, 2010, p. 60)

La topografía afecta el proceso erosivo mediante la pendiente, considerando su longitud, magnitud y forma. Generalmente el grado origina problemas más agudos que la longitud de la pendiente. En cuanto a la longitud de la pendiente, el efecto es variable de acuerdo a la naturaleza de la precipitación, la cobertura vegetal y textura del suelo. La mayor

longitud de la pendiente aumenta el espesor de la carga hidráulica o lámina de escurrimiento. (Vanesa, 2010, p. 60)

La influencia de la vegetación sobre la erosión se relaciona directamente con la intercepción de las gotas de lluvia, su velocidad de escurrimiento e infiltración. Es decir, la cobertura vegetal tiene influencia directa en la absorción de la energía de las gotas de lluvia y en la disminución de la velocidad de escurrimiento, en ausencia de dicha cobertura o en suelos desnudos, los valores de pérdida de suelos son importantes. (Vanesa, 2010, p. 60)

### ***2.1.6. Precipitaciones máximas y periodos de retorno***

La precipitación máxima probable meteorológica, llamada en un principio como precipitación máxima posible (Knox, J., 1960), se define como “La mayor precipitación para una determinada duración, meteorológicamente posible, para una tormenta de una cierta extensión (tamaño) en un lugar particular y en una determinada época del año” (WMO, 1986). Se calcula maximizando la posibilidad del contenido de agua precipitable en la atmósfera de un lugar en una determinada época del año. (Fattorelli y Fernández, 2011, p. 244)

Según Almorox (s.f.), para la estimación de avenidas es necesario saber el valor de la máxima precipitación probable registrada para un determinado período de retorno. Por lo cual, el “período de retorno o de recurrencia” (T) es el intervalo medio expresado en años en el que un valor extremo alcanza o supera al valor “x”, al menos una sola vez. Es decir, si la precipitación máxima para un período de retorno de 200 años es de 90,3 mm, es posible que un fenómeno de 90,3 mm de precipitación se repita o sea superado por lo menos una vez en 200 años.

**2.1.6.1. Probabilidad y periodo de retorno.** Sánchez, (2013), nos indica que, si un caudal se iguala o supera cada 20 años, la probabilidad de que eso suceda para 100 años es de

0,05 (5%), y si la probabilidad de que algo suceda es de 0,04 (4%), quiere decir que, sucederá en promedio 4 veces en 100 años, es decir, cada 25 años. Estos conceptos se relacionan mediante la expresión:

$$\text{Periodo de retorno} = \frac{1}{\text{Probabilidad de superar un fenomeno}} \quad (1)$$

Como:

$$\text{Probabilidad de que no se supere} = 1 - \text{Probabilidad de que se supere} \quad (2)$$

También se cumple:

$$\text{Probabilidad de que se supere} = \frac{1}{\text{Periodo de retorno}} \quad (3)$$

$$\text{Probabilidad de que no se supere} = 1 - \frac{1}{\text{Periodo de retorno}} \quad (4)$$

En términos hidrológicos se utiliza la denominación periodo de retorno en vez de probabilidad. De esta manera, se expresa como “la crecida de 50 años” en lugar de “la crecida con probabilidad de 0,02 (2%)”; o se dice “precipitación con retorno de 100 años” en vez de “la precipitación con probabilidad de 0,01 (1%)”. (Sánchez, 2013)

## Tabla 2

*Ejemplos de interpretación de la probabilidad y el periodo de retorno.*

<b>Probabilidad</b>	<b>Interpretación cada 100 años</b>	<b>Periodo de retorno</b>
<b>20%</b>	El evento sucederá 20 veces, 1 vez cada 5 años	5 años
<b>10%</b>	El evento sucederá 10 veces, 1 vez cada 10 años	10 años
<b>4%</b>	El evento sucederá 4 veces, 1 vez cada 25 años	25 años
<b>2%</b>	El evento sucederá 2 veces, 1 vez cada 50 años	50 años
<b>1%</b>	El evento sucederá 1 vez cada 100 años	100 años

**2.1.6.2. Valores extremos, distribución de Gumbel.** Para el estudio de series de valores extremos se utilizan diversas distribuciones; la de utilización más simple es la distribución de Gumbel, con la cual se puede calcular la frecuencia a partir del valor “x”. (Sánchez, 2013)

La probabilidad de que se presente un valor inferior a “x” es:

$$F(x) = e^{-e^{-(x-u)/\alpha}} \quad (5)$$

Siendo:

$$\alpha = s_x/\sigma_y \quad u = \bar{x} - \mu_y \cdot \alpha \quad (6)$$

donde:

$F(x)$  = Probabilidad de que se presente un valor igual o menor que x.

$e$  = base de los logaritmos neperianos

$\bar{x}$  = media aritmética de la muestra

$s_x$  = desviación estándar de la muestra

$\sigma_y, \mu_y$  = datos de la tabla según el número de datos de la muestra

Para solucionar el caso inverso y calcular qué caudal o precipitación se producirán cada “n” años en tiempo de retornos, se despeja “x” en la expresión anterior:

$$(x - u)/\alpha = -\ln(-\ln(F(x))) \quad (7)$$

$$x = -\ln(-\ln(F(x))) \cdot \alpha + u \quad (8)$$

Para este caso se considera:

$$\text{Probabilidad de ser superior} = \frac{1}{\text{Periodo de retorno}} \quad (9)$$

Por tanto, buscamos un valor con una probabilidad de ser superado:

$$\text{Probabilidad de ser inferior} = 1 - \text{Probabilidad de ser superior} \quad (10)$$

Es decir:

$$F(x) = 1 - \frac{1}{\text{Tiempo de retorno}} \quad (11)$$

Para finalmente obtener la siguiente ecuación:

$$x = -\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{\text{Tiempo de retorno}}\right)\right) \cdot \alpha + u \quad (12)$$

donde “x” sería el valor esperado en un tiempo de retorno determinado.

**Tabla 3**

*Valores de  $\mu_y$  y  $\sigma_y$  según la cantidad de datos.*

Valores de $\mu_y$ y $\sigma_y$ para el cálculo de alfa y beta						
Nº datos	1	2	3	4	5	6
$\mu_y$	0,36651	0,40434	0,42859	0,44580	0,45879	0,46903
$\sigma_y$	0,00000	0,49838	0,64348	0,73147	0,79278	0,83877
Nº datos	7	8	9	10	11	12
$\mu_y$	0,47735	0,48428	0,49015	0,49521	0,49961	0,50350
$\sigma_y$	0,87493	0,90432	0,92882	0,94963	0,96758	0,98327
Nº datos	13	14	15	16	17	18
$\mu_y$	0,50695	0,51004	0,51284	0,51537	0,51768	0,5198
$\sigma_y$	0,99713	1,00948	1,02057	1,03060	1,03973	1,04808
Nº datos	19	20	21	22	23	24
$\mu_y$	0,52175	0,52355	0,52522	0,52678	0,52823	0,52959
$\sigma_y$	1,05575	1,06282	1,06938	1,07547	1,08115	1,08646
Nº datos	25	26	27	28	29	30
$\mu_y$	0,53086	0,53206	0,53319	0,53426	0,53527	0,53622
$\sigma_y$	1,09145	1,09613	1,10054	1,10470	1,10864	1,11237
Nº datos	31	32	33	34	35	36
$\mu_y$	0,53713	0,53799	0,53881	0,53959	0,54034	0,54105
$\sigma_y$	1,11592	1,11929	1,12249	1,12555	1,12847	1,13126

Valores de $\mu_y$ y $\sigma_y$ para el cálculo de alfa y beta						
<b>Nº datos</b>	<b>37</b>	<b>38</b>	<b>39</b>	<b>40</b>	<b>41</b>	<b>42</b>
$\mu_y$	0,54174	0,54239	0,54302	0,54362	0,54420	0,54475
$\sigma_y$	1,13394	1,13650	1,13896	1,14131	1,14358	1,14576
<b>Nº datos</b>	<b>43</b>	<b>44</b>	<b>45</b>	<b>46</b>	<b>47</b>	<b>48</b>
$\mu_y$	0,54529	0,54580	0,54630	0,54678	0,54724	0,54769
$\sigma_y$	1,14787	1,14989	1,15184	1,15373	1,15555	1,15731
<b>Nº datos</b>	<b>49</b>	<b>50</b>	<b>51</b>	<b>52</b>	<b>53</b>	<b>54</b>
$\mu_y$	0,54812	0,54854	0,54895	0,54934	0,54972	0,55009
$\sigma_y$	1,15901	1,16066	1,16226	1,16380	1,16530	1,16676
<b>Nº datos</b>	<b>55</b>	<b>56</b>	<b>57</b>	<b>58</b>	<b>59</b>	<b>60</b>
$\mu_y$	0,55044	0,55079	0,55113	0,55146	0,55177	0,55208
$\sigma_y$	1,16817	1,16955	1,17088	1,17218	1,17344	1,17467
<b>Nº datos</b>	<b>61</b>	<b>62</b>	<b>63</b>	<b>64</b>	<b>65</b>	<b>66</b>
$\mu_y$	0,55238	0,55268	0,55296	0,55324	0,55351	0,55378
$\sigma_y$	1,17586	1,17702	1,17816	1,17926	1,18034	1,18139
<b>Nº datos</b>	<b>67</b>	<b>68</b>	<b>69</b>	<b>70</b>	<b>71</b>	<b>72</b>
$\mu_y$	0,55403	0,55429	0,55453	0,55477	0,55500	0,55523
$\sigma_y$	1,18242	1,18342	1,18440	1,18535	1,18629	1,18720
<b>Nº datos</b>	<b>73</b>	<b>74</b>	<b>75</b>	<b>76</b>	<b>77</b>	<b>78</b>
$\mu_y$	0,55546	0,55567	0,55589	0,55610	0,55630	0,55650
$\sigma_y$	1,18809	1,18896	1,18982	1,19065	1,19147	1,19227
<b>Nº datos</b>	<b>79</b>	<b>80</b>	<b>81</b>	<b>82</b>	<b>83</b>	<b>84</b>
$\mu_y$	0,55669	0,55689	0,55707	0,55726	0,55744	0,55761
$\sigma_y$	1,19306	1,19382	1,19458	1,19531	1,19604	1,19675
<b>Nº datos</b>	<b>85</b>	<b>86</b>	<b>87</b>	<b>88</b>	<b>89</b>	<b>90</b>
$\mu_y$	0,55779	0,55796	0,55812	0,55828	0,55844	0,55860
$\sigma_y$	1,19744	1,19813	1,19880	1,19945	1,20010	1,20073
<b>Nº datos</b>	<b>91</b>	<b>92</b>	<b>93</b>	<b>94</b>	<b>95</b>	<b>96</b>
$\mu_y$	0,55876	0,55891	0,55905	0,55920	0,55934	0,55948
$\sigma_y$	1,20135	1,20196	1,20256	1,20315	1,20373	1,20430
<b>Nº datos</b>	<b>97</b>	<b>98</b>	<b>99</b>	<b>100</b>	<b>101</b>	<b>-</b>
$\mu_y$	0,55962	0,55976	0,55989	0,56002	0,56015	-
$\sigma_y$	1,20486	1,20541	1,20596	1,20649	1,20701	-

Nota. Adaptado de la *Climatología aplicada a la Ingeniería y Medioambiente*, por Almorox,

s.f.

### 2.1.7. Análisis de correlación y análisis regionales

Fattorelli y Fernández (2011), señalan que, los análisis de correlación con el objeto de obtener información entre dos puntos de una cuenca hidrográfica constituyen una práctica hidrológica de uso frecuente. Asimismo, esta práctica se utiliza para completar datos perdidos en series hidrológicas o para la predicción de los valores de una variable en función de otros parámetros medidos u observados. Los análisis hidrológicos se hacen más robustos cuando es posible realizar, para cuencas semejantes, estudios regionales que permiten una más adecuada generalización de los resultados. (p. 189)

**2.1.7.1. Medidas de Dispersión.** Las medidas de dispersión miden como los valores de una variable se dispersan alrededor del valor central o media aritmética de la serie. (Fattorelli y Fernández, 2011, p. 110)

**A. Desviación estándar.** Está relacionada a la distribución de un conjunto de medidas a través de un valor de su tendencia central y otro valor que refleje la dispersión. Se calcula en función de la suma de las desviaciones de cada valor (x) de la media calculada ( $\bar{x}$ ), donde “n” es el número total de datos. (Sánchez, 2013)

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n}} \quad (13)$$

donde:

$S_n$  = desviación estándar

x = valor de cada dato de la serie “x”

$\bar{x}$  = promedio de los datos de la serie “x”

n = número total de datos

Según Sánchez (2013), la fórmula anterior se aplica para una población definida, pero generalmente se dispone sólo de los datos de una muestra, por lo tanto, la desviación estándar

de esa muestra puede variar con la desviación estándar de toda la población, para corregir este error se utiliza la siguiente ecuación:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (14)$$

donde:

$\sigma$  = desviación estándar

$x$  = valor de cada dato de la serie “x”

$\bar{x}$  = promedio de los datos de la serie “x”

$n$  = número total de datos

**B. Varianza.** Es el cuadrado de la desviación estándar ( $\sigma^2$ ) y es el segundo momento alrededor de la media. Sus unidades son el cuadrado de las unidades de la variable. Es un indicador que indica cuanto cerca de la media está el valor de la variable. (Fattorelli y Fernández, 2011, p. 110)

$$\sigma^2 = \frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (15)$$

donde:

$\sigma^2$  = varianza

$x$  = valor de cada dato de la serie “x”

$\bar{x}$  = promedio de los datos de la serie “x”

$n$  = número total de datos

**C. Covarianza.** Es cuando se analiza la varianza de dos (x, y) o más variables (x, y, z). En el caso de dos variables, la covarianza es la media aritmética del producto de los errores de “x” e “y”. (Fattorelli y Fernández, 2011, p. 111)

$$\sigma_{xy} = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{n} \quad (16)$$



donde:

$\sigma_{xy}$  = covarianza

x = valor de cada dato de la serie “x”

$\bar{x}$  = promedio de los datos de la serie “x”

y = valor de cada dato de la serie “y”

$\bar{y}$  = promedio de los datos de la serie “y”

n = número total de pares de datos observados

**2.1.7.2. Correlaciones simples y múltiples.** según Fattorelli y Fernández (2011), consiste en el proceso de establecer la asociación entre dos o más variables al azar, donde la variación de una de ellas explica la variación de la otra. Si existen solamente dos variables (x, y) es una correlación simple, si hay más de dos variables independientes ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ) es una correlación múltiple. (p. 189)

**A. Coeficiente de correlación.** El coeficiente de correlación es la forma más frecuente de expresar el grado de asociación entre dos variables. (Fattorelli y Fernández, 2011, p. 190)

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{(n - 1) \cdot \sigma_x \sigma_y} \quad (17)$$

donde:

r = coeficiente de correlación

x = valor de cada dato de la serie “x”

$\bar{x}$  = promedio de los datos de la serie “x”

y = valor de cada dato de la serie “y”

$\bar{y}$  = promedio de los datos de la serie “y”

$\sigma_x$  = desviación estándar de los datos de la serie “x”

$\sigma_y$  = desviación estándar de los datos de la serie “y”

n = número total de pares de datos observados

El valor del coeficiente de correlación,  $r$ , oscila de  $+1$  a  $-1$ ; cuando  $r$  es positivo indica correlación directa (a un aumento de “ $x$ ”, existe un aumento de “ $y$ ”) y si es negativo es correlación inversa. Generalmente se usa el valor de  $r^2$  denominado “coeficiente de determinación”, es una medida de la diferencia entre la varianza ( $\sigma^2$ ) de los valores observados y la varianza de los valores estimados por la línea de regresión. A mayor valor de  $r^2$ , menor es esa diferencia y mejor es la regresión. Si  $r = 0,8$  entonces  $r^2 = 0,64$ . Este valor indica que el 64% de la varianza está explicada por la regresión. (Fattorelli y Fernández, 2011, p. 190-191)

**B. Regresión.** Es una curva ajustada a todos los valores medios de “ $y$ ” para determinados valores de “ $x$ ”, se le llama la línea de regresión de “ $y$ ” versus “ $x$ ”. La ecuación que define esa línea,  $y = f(x)$ , es la ecuación de regresión. Una variable se considera dependiente “ $y$ ” y la otra u otras “ $x$ ” son consideradas independientes:  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ . Cuando se determina una correlación entre variables, esta será mejor cuanto menor dispersión tengan los puntos alrededor de la línea de regresión. (Fattorelli y Fernández, 2011, p. 190)

**C. Cálculo de la ecuación de regresión.** En correlaciones simples, el ajuste a una línea, es una suerte de aplicación de conceptos matemáticos como el uso de funciones semilogarítmicas o doble logarítmicas. (Fattorelli y Fernández, 2011, p. 191)

#### **2.1.8. Ecuación universal de pérdida de suelo - USLE (Universal Soil Loss Equation)**

Método que predice la pérdida anual de suelo para determinadas condiciones de suelo, clima, topografía, cobertura y prácticas de manejo. El modelo se fundamenta en la capacidad que poseen las lluvias para provocar la erosión. (Wischmeier y Smith, 1978, citado por Vanesa, 2010, p. 65)

Fue diseñada por Wischmeier & Smith (1978) en base a estudios de 10 000 parcelas experimentales con parámetros controlados de 22,13 m de longitud y 9% de inclinación de la pendiente. (Vanesa, 2010, p. 66)

El significado de universal es porque incluye factores que universalmente son responsables de la erosión acelerada. Es un método que permite predecir la pérdida de suelo anual promedio causada por la erosión. Además, estima pérdidas anuales de suelo de largo plazo y permite guiar sobre las adecuadas prácticas de cultivo, manejo y conservación de suelos. (Vanesa, 2010 p. 66)

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), se describe así:

$$E=R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (18)$$

donde:

E = Pérdida anual del suelo en ton/ha/año

R = Factor lluvia o índice de erosividad pluvial en MJ·mm/ha·h

K = Erodabilidad del suelo en (ton/ha)/( MJ·mm/ha·h)

LS = Factor topográfico, es adimensional

C = Factor de cobertura vegetal, es adimensional

P = Factor de prácticas de conservación, es adimensional

Colque (2015), señala que, la FAO clasifica la degradación del suelo causada por la erosión, de la siguiente manera:

**Tabla 4**

*Clasificación de degradación de suelo causada por la erosión.*

<b>Categoría</b>	<b>Pérdida de suelo (Ton/ha/año)</b>
Ninguna a ligera	< 10
Moderada	10 - 50

<b>Categoría</b>	<b>Pérdida de suelo (Ton/ha/año)</b>
Alta	50 - 200
Muy alta	> 200

Nota. Tomado de la *Categorización de la erosión hídrica en la microcuenca de Ranrahirca, aplicando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE)*, por Colque, 2015, p. 17.

**2.1.8.1. Factor lluvia o índice de erosividad pluvial (R).** según Fattorelli y Fernández (2011), el factor de erosividad cuantifica la capacidad que tiene la lluvia para erosionar un campo desprotegido y se define como una propiedad específica de las lluvias, que puede ser evaluada cuantitativamente como la capacidad potencial de las lluvias para producir erosión. (p. 253)

Según Ramos (2001), para la variable del factor de erosividad se puede determinar en base a la precipitación del mes más lluvioso y la precipitación anual. (p. 5)

Algunos investigadores han propuesto que:

$$R = a (P_2 / P)^b \quad (19)$$

en donde:

$P_2$  = Precipitación del mes más lluvioso

$P$  = Precipitación del año.

$b$  = Exponente

O la metodología propuesta por Cortés (1994), cuya ecuación ( $r^2 = 0,96$ ) es:

$$R = 2,4619P + 0,00606 P^2 \quad (20)$$

donde

$P$  = Precipitación media anual

O según Morgan (1974) para lugares de alta precipitación:

$$R = I_{30} (9,28P - 8383)/1000 \quad (21)$$

donde

$I_{30}$  = 75mm/h (Valor recomendado por Weischmeir)

P = Precipitación media anual

Y finalmente según Foster

$$R = 0,276P \cdot I_{30}/100 \quad (22)$$

donde

$I_{30}$  = 75mm/h (Valor recomendado por Weischmeir)

P = Precipitación media anual

**Índice modificado de Foournier.** Según Colque (2015), cuando se refiere al factor de erosividad de lluvia la FAO manifiesta que, es la capacidad en función de las características físicas de la lluvia. La ecuación desarrollada por la FAO, denominada índice modificado de Fournier elaborado por Arnoldus en 1977, es ampliamente utilizado debido a su simplicidad.

(p. 10)

$$R = \frac{\sum P P m^2}{P P a} \quad (23)$$

donde:

R = factor de erosividad de la lluvia (MJ·mm/ha·h)

PPm = precipitación media mensual

PPa = Precipitación media anual

Ramírez (2010) señala que, este índice fue utilizado por la FAO en la elaboración del mapa universal de degradación de suelos. Las principales ventajas que muestra son el empleo de datos meteorológicos simples y una buena correlación con valores medidos conocidos del

factor R. Esta ecuación se probó en diferentes regiones del mundo obteniéndose en general un alto grado de correlación de 0,89. (p. 36)

**2.1.8.2. Factor de erodabilidad (K).** Representa la resistencia natural que ofrece el suelo, al actuar con los demás factores erosivos; depende del tipo de suelo, de sus características físicas y químicas, de la cantidad de materia orgánica, de la estructura, de la estabilidad de sus agregados, de sus parámetros hidrológicos asociados al almacenamiento, retención, infiltración y flujo de agua y de su composición mineralógica y catiónica. (Fattorelli y Fernández, 2011, p. 254)

Becerra (2005), define el término como la susceptibilidad de un suelo a ser erosionado; a su vez, esta susceptibilidad depende de diversas propiedades y características del suelo, siendo las más importantes, la distribución de las partículas primarias (arena, limo y arcilla) y el contenido de materia orgánica.

Según Mancilla (2008), el factor de erodabilidad puede ser estimado de manera directa a través de una ecuación, o bien de manera gráfica, sin embargo, esta última es menos exacta debido al sesgo visual en que se puede incurrir (ver Figura 1). Para el método de la ecuación, una vez realizado el análisis de textura y determinados los valores de materia orgánica, estructura y permeabilidad, se procede a calcular el factor K.

Al respecto, para su cálculo existen dos fórmulas: primera y segunda aproximación. La primera utiliza la textura y materia orgánica del suelo y la segunda, más exacta, considera también estructura y permeabilidad. Todos estos datos se refieren a los 20 cm superficiales del suelo, excepto la permeabilidad que es para todo el perfil. (Camacho, 2012, p. 53)

Formula de 1° aproximación:

$$77,4K = 2,1 \cdot 10^{-4} \cdot (\%L + \%A) \cdot (100 - \%a) \cdot 1,14 \cdot (12 - \%m.o.) \quad (24)$$

Formula de 2° aproximación:

$$100K = 1,292 \cdot [2,1 \cdot 10^{-4} \cdot (M) \cdot 1,14 \cdot (12 - \%m.o.) + 3,25 \cdot (b-2) + 2,5 \cdot (c-3)] \quad (25)$$

donde

% L = porcentaje de Limo

% A = porcentaje de Arena

% a = porcentaje de arcilla

% m.o. = porcentaje de materia orgánica

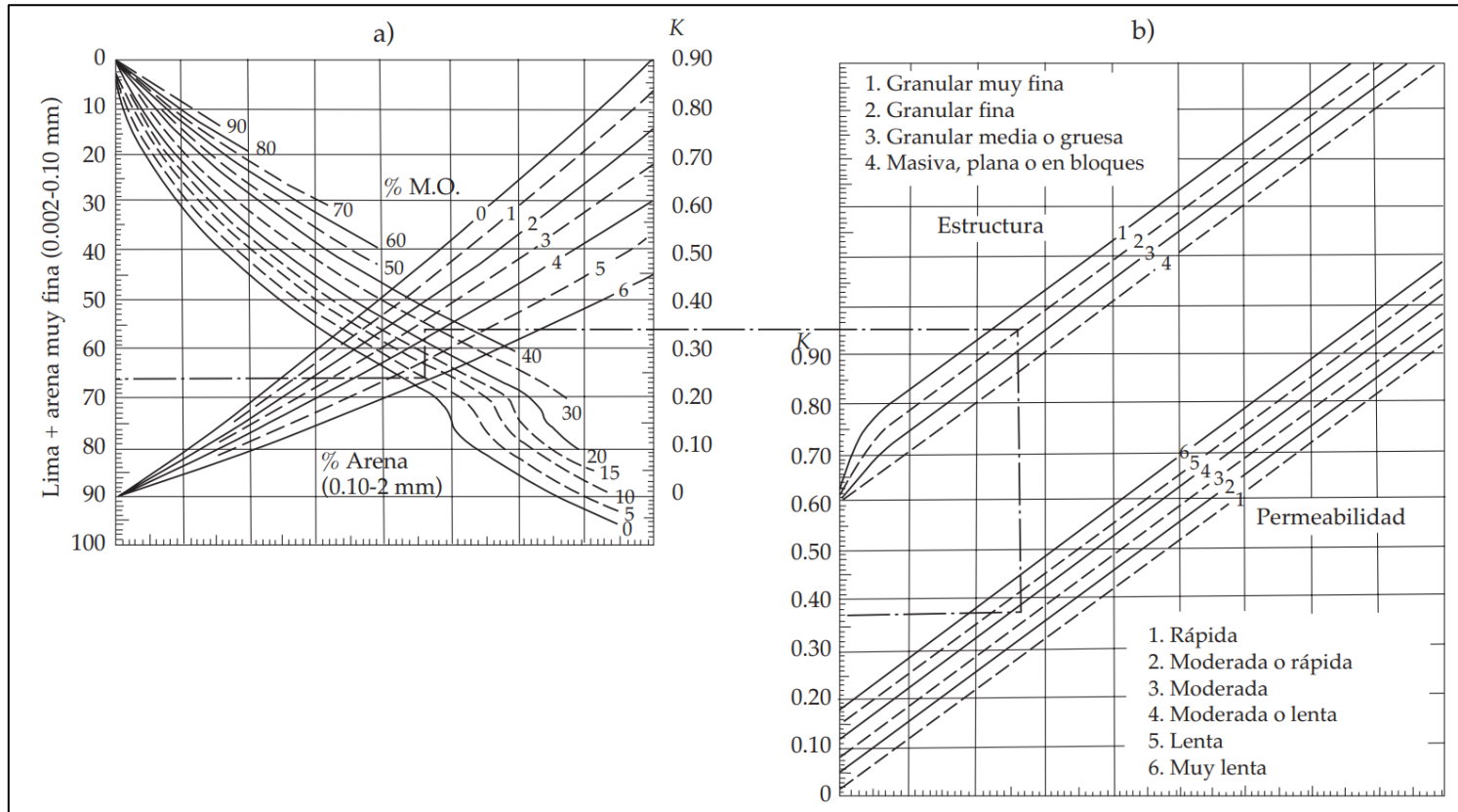
M = (% de Limo + % de Arena) · (100 - % de Arcilla)

b = Número correspondiente a la estructura del suelo

c = Número por clase de permeabilidad del perfil del suelo

**Figura 1**

Nomograma de Wischmeier y Smith para el cálculo del factor K (Renard, 1997).



Nota. Se puede observar con línea segmentada un ejemplo de la estimación de K para un suelo con 65% de limo más arena muy fina, 5% de arena, 3,5% de materia orgánica, estructura granular fina y permeabilidad moderada o lenta, tomado de “Mapa Nacional de Erosión Potencial”, por Montes, Uribe y García, 2011, *Tecnología y Ciencias del Agua*, 2(1), p. 9.



Según Sámano (2008), es importante destacar que a medida que el valor de “K” aumenta, se incrementa la susceptibilidad del suelo a erosionarse. Cuando se trabaja en una cuenca, se puede determinar los valores de K tomando como referencia los valores de acuerdo a la clasificación de la FAO. (p. 44)

**Tabla 5**

*Valores de “K” en función de la unidad y textura del suelo, según la FAO.*

ORDEN	TEXTURA			ORDEN	TEXTURA		
	G	M	F		G	M	F
<b>A: Acrisol</b>	0,026	0,04	0,013	<b>M: Molisol</b>	0,026	0,04	0,013
<b>Af, Ah</b>	0,013	0,02	0,007	<b>Mta, Mg</b>	0,026	0,04	0,013
<b>Ag, Ao</b>	0,026	0,04	0,013				
<b>Ap</b>	0,053	0,079	0,026				
<b>B: cambisol</b>	0,026	0,04	0,013	<b>N: Nitosol</b>	0,013	0,02	0,007
<b>Bf, Bh</b>	0,013	0,02	0,007	<b>Nd, Ne, Nh</b>	0,013	0,02	0,007
<b>Bc, Bd, Be, Bg, Bk</b>	0,026	0,04	0,013				
<b>Bv, Bx</b>	0,053	0,079	0,026				
<b>C: Chernozen</b>	0,013	0,02	0,007	<b>O: Histosol</b>	0,013	0,02	0,007
<b>Cg, Ch, ck</b>	0,013	0,02	0,007	<b>Od, Oe, Ox</b>	0,013	0,02	0,007
<b>D: Podzoluvisol</b>	0,053	0,079	0,026	<b>P, Podzol</b>	0,053	0,079	0,026
<b>Dd, De, Dg</b>	0,053	0,079	0,026	<b>Ph, Ol</b>	0,026	0,04	0,013
				<b>Pf, Pg, Po, Pp</b>	0,053	0,079	0,026
<b>E: Rendzina</b>	0,013	0,02	0,007	<b>Q: Arenosol</b>	0,013	0,02	0,007
				<b>Qa, Qc, Qf</b>			
<b>F: Ferrasol</b>	0,013	0,02	0,007	<b>R: Regosol</b>	0,026	0,04	0,013
<b>F (a, h, o, p, r, x)</b>	0,013	0,02	0,007	<b>Rc</b>	0,013	0,02	0,007
				<b>Re, Rd</b>	0,026	0,04	0,013
				<b>Rx</b>	0,053	0,079	0,026
<b>G: Gleysol</b>	0,026	0,04	0,013	<b>S: Solonetz</b>	0,053	0,079	0,026
<b>Gc, Gh, Cm</b>	0,013	0,02	0,007	<b>Sm</b>	0,026	0,04	0,013
<b>Gd, Ge</b>	0,026	0,04	0,013	<b>Sg, So</b>	0,053	0,079	0,026
<b>Gp, Gx, Gv</b>	0,053	0,079	0,026				
<b>H, Feozem</b>	0,013	0,02	0,007	<b>T: Andosol</b>	0,026	0,04	0,013
<b>Hc, Hg, Hh, Hl</b>	0,013	0,02	0,007	<b>Th, Tm</b>	0,013	0,02	0,007
				<b>To, Tv</b>	0,026	0,04	0,013
<b>I: Litosol</b>	0,013	0,02	0,007	<b>U: Ranker</b>	0,013	0,02	0,007
				<b>V: Vertisol</b>	0,053	0,079	0,026
<b>J: Fluvisol</b>	0,026	0,04	0,013	<b>W: Planosol</b>	0,053	0,079	0,026
<b>Jc</b>	0,013	0,02	0,007	<b>Wh, Wm</b>	0,026	0,04	0,013
<b>Jd, Je</b>	0,026	0,04	0,013	<b>Wd, We, Ws, Wx</b>	0,053	0,079	0,026

ORDEN	TEXTURA			ORDEN	TEXTURA		
	G	M	F		G	M	F
<b>Jp, Jt</b>	0,053	0,079	0,026				
<b>K: Castañozem</b>	0,026	0,04	0,013	<b>X: Xerosol</b>	0,053	0,079	0,026
<b>Kh, kk, kl</b>	0,026	40	0,013	<b>Xh, Xk, Xt, Xy</b>	0,053	0,079	0,026
<b>L: Luvisol</b>	0,026	0,04	0,013	<b>Y: Yermosol</b>	0,053	0,079	0,026
<b>Lf</b>	0,013	0,02	0,007	<b>Yh, Yk, Yy, Yt</b>	0,053	0,079	0,026
<b>Lc, Lg, Lk, Lo</b>	0,026	0,04	0,013				
<b>La, Lp, Lv</b>	0,053	0,079	0,026	<b>Z: Solonchak</b>	0,026	0,04	0,013
				<b>Zm</b>	0,013	0,02	0,007
				<b>Ag, Zo</b>	0,053	0,04	0,0013
				<b>Zt</b>	0,053	0,079	0,026

Nota. Los valores están en (ton/ha)/( MJ·mm/ha·h). La textura se clasifica como G: gruesa, M: media y F: fina, f: férrico, g: gleyco, h: húmico, o; órtico, p: plíntico, c: crómico, d: dístrico, e: eútrico, k: cálcico, v: vértico, x: gélico, m: mólico, p: plíntico, t: tiónico, a: álbico, tomado de la *Evaluación de erosión natural de la cuenca media y alta del río Sonora*, por Sámano, 2008, p. 48.

Montes, Uribe y García (2011), señalan que, según la clasificación de suelos del *World Reference Base for Soil Resources* (WRB) reporte número 84 de la FAO, en el año 2006, publicado por la Sociedad Internacional de las Ciencias del Suelo (SICS) del Centro Internacional de Referencia e Información de Suelos (ISRIC) y de la FAO, en Roma, Italia, se determinan los siguientes valores para K:

**Tabla 6**

*Factor “K” para el tipo de suelo de la clasificación desarrollada por la WRB.*

Orden	TEXTURA			Clasificación WRB	
	G	M	F	Nombre	Símbolo
<b>AC</b>	0,026	0,040	0,013	Acrisol	AC
<b>AL</b>	0,026	0,040	0,013	Albeluvisol	AB
<b>AN</b>	0,026	0,040	0,013	Alisol	AL
<b>AR</b>	0,013	0,020	0,007	Andosol	AN
<b>CH</b>	0,013	0,020	0,007	Anthrosol	AT

Orden	TEXTURA			Clasificación WRB	
	G	M	F	Nombre	Símbolo
CL	0,053	0,079	0,026	Arenosol	AR
CM	0,026	0,040	0,013	Calcisol	CL
DU	0,053	0,079	0,026	Cambisol	CM
FL	0,026	0,040	0,013	Chernozem	CH
FR	0,013	0,020	0,007	Cryosol	CR
GL	0,026	0,040	0,013	Durisol	DU
GY	0,053	0,079	0,026	Ferralsol	FR
HS	0,053	0,020	0,007	Fluvisol	FL
KS	0,026	0,040	0,013	Gleysol	GL
LP	0,013	0,020	0,007	Gypsisol	GY
LV	0,026	0,040	0,013	Histosol	HS
LX	0,013	0,020	0,007	Kastanozem	KS
NT	0,013	0,020	0,007	Leptosol	LP
PH	0,013	0,020	0,007	Lixisol	LX
PL	0,053	0,079	0,026	Luvisol	LV
PT	0,026	0,040	0,013	Nitisol	NT
PZ	0,053	0,079	0,026	Phaeozem	PH
RG	0,026	0,040	0,013	Planosol	PL
SC	0,026	0,040	0,013	Plinthosol	PT
SN	0,053	0,079	0,026	Podzol	PZ
UM	0,026	0,040	0,013	Regosol	RG
VR	0,053	0,079	0,026	Solonchak	SC
				Solonetz	SN
				Umbrisol	UM
				Vertisol	VR

Nota. Tomado de “Mapa Nacional de Erosión Potencial”, por Montes et al., 2011, *Tecnología y Ciencias del Agua*, 2(1), p. 10.

**2.1.8.3. Factor geomorfológico o topográfico (LS).** El Factor Geomorfológico (LS) representa la influencia de la longitud y el grado de la pendiente en la erosión del suelo por el efecto de la lluvia y se representan en la ecuación como L y S, pero a menudo se evalúan como un factor topográfico único. (Fattorelli y Fernández, 2011, p. 257)

Según Becerra (2005, citado por Hernández, 2010) con respecto al factor L y S, longitud y el grado de la pendiente respectivamente, a medida que ambas características se

incrementan, mayor será su efecto en la pérdida de suelo. Para determinar este factor, se puede emplear la siguiente fórmula:

$$LS = (X/22,13)^m \cdot (0,065 + 0,045S + 0,0065S^2) \quad (26)$$

donde

X = Longitud de la pendiente en metros

S = Pendiente del terreno en porcentaje

m = exponente que depende del grado de pendiente del terreno

La magnitud del exponente m, varía en función de la pendiente del terreno:

m = 0,5 si  $S \geq 5\%$ ; m = 0,4 si  $5 > S > 3\%$ , m = 0,3 si  $3 \geq S \geq 1\%$  y m = 0,2 si  $S < 1\%$

La Facultad de Hidráulica e Hidrología de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes (Madrid) ha permitido la elaboración de una tabla que nos permite asignar directamente el valor del factor LS en función de la pendiente. (Ramos, 2001, p. 7)

### Tabla 7

*Valores del Factor LS según la pendiente del terreno.*

<b>Grupos de pendientes en%</b>	<b>Factor LS</b>
0 - 3	0,3
3 - 12	1,5
12 - 18	3,4
18 - 24	5,6
24 - 30	8,7
30 - 60	14,6
60 - 70	20,2
70 - 100	25,2
> 100	28,5

Nota. Tomado del *Modelamiento ambiental para análisis de susceptibilidad erosiva en la cuenca media y alta del río Cañete y determinación del mapa de erosión*, por Ramos, 2001, p. 7.

**2.1.8.4. Factor de cobertura vegetal (C).** Representa la cantidad de suelo perdido de un terreno bajo condiciones específicas de uso y vegetación, en comparación con la pérdida de suelo que pudiera presentar el mismo terreno estando desprovisto de vegetación y bajo labranza continua. En condición estándar (sin cobertura vegetal y en condición extrema para favorecer la erosión) el valor de C es la unidad y será cada vez menor a medida que haya una mejor cobertura vegetal sobre el terreno, de esta manera los valores de C fluctúan entre 0,0 y 1,0, correspondiendo a un terreno totalmente protegido y uno totalmente desprotegido respectivamente. (Becerra, 2005 citado por Hernández, 2010, p. 19)

Rodríguez et al. (2004), indica los diversos valores del factor C para diferentes tipos de cobertura determinados por el ICONA en el año 1982.

**Tabla 8**

*Valores del Factor C según el tipo de cubierta.*

<b>Tipo de Cubierta</b>	<b>Factor C</b>
Arbolado forestal denso	0,010
Arbolado forestal claro	0,030
Matorral con buena cobertura	0,080
Matorral ralo y eriales	0,200
Cultivos arbóreos y viñedos	0,400
Cultivos anuales y herbáceos	0,250
Cultivos en regadío	0,040

Nota. Tomado de “Sistemas de Información Geográfica en la Evaluación de la Erosión Hídrica en Badajoz-España Aplicando La Metodología USLE”, por Rodríguez et al., 2004, *Agronomía Tropical*, 54(2), p. 399.

Ramos (2001), indica los valores de la tabla publicada por Wischmeier y Smith del año 1978, en donde se definen los valores del factor C para las diferentes coberturas y los tipos de cultivos más comunes.

**Tabla 9**

*Valores del Factor C según la cobertura, el tipo de cultivo y práctica.*

<b>Cobertura, cultivo y práctica</b>	<b>Media anual del factor C</b>
Suelo desnudo	1,000
Bosque o matorral denso (alto mulch)	0,001
Pradera herbácea en buenas condiciones	0,010
Pradera sobre pastoreada	0,100
Maíz, sorgo, alto rendimiento, laboreo convencional	0,200 - 0,550
Maíz, sorgo, alto rendimiento, sin laboreo convencional	0,500 - 0,900
Maíz, sorgo, bajo rendimiento, laboreo mínimo o no laboreo	0,020 - 0,100
Maíz, sorgo, alto rendimiento, laboreo con chisel	0,120 - 0,200
Maíz, sorgo, bajo rendimiento, laboreo con chisel	0,300 - 0,450
Algodón	0,400 - 0,700
Pradera herbácea	0,010 - 0,025
Soya	0,200 - 0,500
Trigo	0,100 - 0,400
Arroz	0,100 - 0,200
Cacahuete	0,300 - 0,800
Frutales con cobertura vegetal	0,010 - 0,800
Caña de azúcar	0,560
Arbolado denso	0,001 - 0,003
Arbolado forestal clareado	0,003 - 0,009
Arbolado muy clareado (25-60%)	0,041
Matorral con buena cobertura	0,003 - 0,013
Matorral ralo y eriales	0,200 - 0,013
Cultivos anuales y herbáceos	0,250
Pasturas	0,150
Plantas herbáceas y matojos (100%)	0,003
Plantas herbáceas y matojos (60%)	0,035
Cubierta escasa (60%)	0,015 - 0,090
Cubierta inapreciable	0,450

Nota. Tomado del *Modelamiento ambiental para análisis de susceptibilidad erosiva en la cuenca media y alta del río Cañete y determinación del mapa de erosión*, por Ramos, 2001, p. 8.

Este factor es la razón entre las pérdidas de suelo de un terreno cultivado bajo condiciones especificadas y la pérdida correspondiente bajo condiciones de barbecho continuo. Ya que la efectividad de la protección de la cubierta vegetal del suelo (capacidad de interceptación y absorción de energía cinética) también depende del estado de desarrollo de los cultivos (excepto praderas permanentes, huertos y bosques). (Vanesa, 2010, p. 69)

**2.1.8.5. Factor de prácticas de conservación de suelo (P).** Este factor hace referencia a la proporción de la pérdida de suelo cuando se hace uso de alguna práctica específica en comparación con la pérdida de suelo cuando se cultiva en laderas de las colinas. Cuando no se cuenta con la información necesaria para realizar una estimación adecuada de este factor, se considera que su valor es uno, suponiendo la situación más desfavorable. (Fattorelli y Fernández, 2011, p. 254)

Según Vanesa (2010), representa las prácticas de conservación usadas en el proceso de manejo: curvas de nivel, cultivos en fajas y terrazas. Es la razón entre las pérdidas de suelo con dichas prácticas y aquellas que ocurren cuando se cultiva en el sentido de la pendiente. (p. 69)

Ramos (2001), indica los valores del factor P para los diferentes tipos de prácticas de conservación de suelo:

**Tabla 10**

*Valores del Factor P según la práctica de conservación.*

<b>Práctica de conservación</b>	<b>Factor P</b>
Cultivo a nivel $s = 0 - 1^\circ$	0,60
Cultivo a nivel $s = 2 - 5^\circ$	0,50
Cultivo a nivel $s = 6 - 7^\circ$	0,60
Cultivo a nivel $s = 8 - 9^\circ$	0,70
Cultivo a nivel $s = 10 - 11^\circ$	0,80
Cultivo a nivel $s = 12 - 14^\circ$	0,90

<b>Práctica de conservación</b>	<b>Factor P</b>
Bancales a nivel	0,14
Bancales a contra pendiente	0,05
Bancales con pend. siguiendo la pend.	0,35
Bancales a nivel con referencia de agua	0,01
Caballones enlazados	0,10 - 0,20

Nota. Tomado del *Modelamiento ambiental para análisis de susceptibilidad erosiva en la cuenca media y alta del río Cañete y determinación del mapa de erosión*, por Ramos, 2001, p. 8.

**2.1.8.6. Erosión potencial - RKLS.** Los términos RKLS, establecen la influencia de los factores físicos del lugar, poco alterados por el hombre. Es la pérdida de suelo que ocurriría en ese sitio si todo el año el suelo estuviese desnudo sin cobertura vegetal (Factor C); por esa razón a este producto parcial se lo denomina erosión potencial (EP). (Ramírez, 2010, p. 35)

El producto de la erosión potencial definida por los factores RKLS multiplicado por los valores de los factores C y P, permiten estimar la erosión actual. (Ramírez, 2010, p. 35)

### **2.1.9. Sistemas de información geográfica (SIG)**

El término SIG o Sistema de Información Geográfica (*Geographic Information System - GIS*) es empleado para referirse a varios conceptos interrelacionados pero diferentes. Por una parte, se utiliza para hacer referencia a los programas de ordenador capaces de, no solo permitir la visualización, consulta e impresión de los mapas, sino además realizar operaciones de análisis como superposiciones vectoriales o álgebra de mapas. (Mancebo, Ortega, Valentín, Martín R. y Martín F., 2008, p. 8)



Las herramientas del SIG se pueden utilizar para numerosas finalidades como realizar análisis de sensibilidad en los modelos mediante la manipulación de las variables y estudiar una cuenca para distintas escalas y sus efectos en la exactitud de la predicción del modelo, también posibilita la integración de fuentes diversas como elementos cartográficos, datos estadísticos, planillas de cálculo e imágenes satelitales. (Vanesa, 2010, p. 70)

Mancebo, Ortega, Valentín, Martín R., y Martín F. (2008) señalan que, los SIG pueden ser de dos tipos principales, ráster o vectorial, según el método usado para modelizar la realidad geográfica, es decir, cómo los aspectos del medio o territorio quedan representados gráficamente, como la vegetación, geología, edafología, temperatura, precipitación, altitud, carreteras, ciudades, ríos, divisiones administrativas, etc. (p. 8)

Por lo tanto, la base del SIG es una serie de capas de información espacial en formato digital que presentan diversas variables denominado formato ráster, o bien capas que representan objetos denominado formato vectorial, a los que corresponden varias entradas en una base de datos enlazada. Esta estructura permite combinar en un mismo sistema, información con orígenes y formatos muy diversos, incrementando la complejidad del sistema. (Colque, 2015, p. 18)

**2.1.9.1. Formato o capa ráster.** Consiste en una malla rectangular de celdillas cuadradas o píxeles. En cada celdilla hay un número que porta la información cuantitativa necesaria para modelizar aspectos del medio muy variables. (Mancebo et al., 2008, p. 9)

Con el formato ráster la representación de la realidad se realiza dividiendo la información del territorio en una serie de celdas, celdillas o píxeles en las que, a cada una de ellas, se le asigna un valor para cada una de las variables consideradas. La precisión viene definida por el tamaño de estas celdas que generalmente son cuadradas. El lado de la celda se

denomina resolución; asimismo, las celdas se distribuyen formando una malla rectangular. (Mancebo et al., 2008, p. 88)

Colque (2015), señala que, existen diversas clasificaciones de los datos ráster que tienden a diferenciarlos utilizando criterios como los que a continuación se presenta:

- Según el valor del pixel:
  - Continuos.
  - Discretos o temáticos.
- Según el número de bandas o variables almacenadas en el ráster.
- Según el tipo de datos almacenado y la fuente de procedencia:
  - Imágenes de Satélite
  - Ráster espectrales (incluye fotografía aérea).
  - Modelos Digitales del Terreno.
  - Ráster temáticos.
  - Fotografía convencional (podría incluirse dentro del primer grupo). (p. 20)

**2.1.9.2. Formato o capa vectorial.** Utilizan un conjunto de puntos, líneas o polígonos que modelizan un aspecto del medio. Estos puntos, líneas o polígonos se denominan como objetos, características o entidades (*features*). Constan de una información geográfica, localización, y de una información alfanumérica que describe determinadas características de las entidades. La información alfanumérica o atributos se encuentran en una tabla. A cada entidad le corresponde un registro o fila en la tabla y viceversa. Dentro de la tabla, cada campo o columna describe un aspecto de las entidades de la capa. (Mancebo et al., 2008, p. 9)

Mancebo et al., (2008), hace una descripción de cada tipo de información vectorial:

- Los puntos se reducen a pares de coordenadas latitud-longitud o x-y, que marcan la posición de lo modelizado sobre la superficie de la tierra. Así, los pozos, fuentes, manantiales, puntos contaminados, estaciones meteorológicas, entre otras, pueden quedar representados con esta estructura vectorial.
- Las líneas o polilíneas son una serie ordenada de puntos denominados vértices, los puntos inicial y final se llaman nodos. Cuando se visualizan consisten en segmentos rectos entre los vértices. Permiten modelizar carreteras, ríos, curvas de nivel, etc.
- Los polígonos son líneas cerradas que delimitan superficies. Modelizan vegetaciones, suelos, geologías, montes, provincias, países, etc. (p. 9)

**2.1.9.3. Álgebra de mapas.** El álgebra de mapas incluye un amplio conjunto de operadores que se ejecutan sobre una o varias capas ráster de entrada para producir una o varias capas de salida. Por operador se entiende a un algoritmo que realiza una misma operación en todas las celdillas de una capa ráster definida mediante ecuaciones. Cada capa ráster es una matriz de números y la operación se realiza para todos los números de dicha matriz, por lo tanto, para todas las celdillas de la capa ráster. (Quispe, 2011, citado por Colque, 2015, p. 23)

### III. MÉTODO

#### 3.1. Tipo de la Investigación

Podría definirse como la investigación no experimental aquella investigación que se realiza sin manipular las variables. Es decir, se trata de estudios en los que no hacemos variar de forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables dependientes. (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p.152)

En una investigación no experimental no se generan ningún tipo de situaciones, sino que se observan las situaciones ya existentes. En este tipo de estudios las variables independientes ocurren y no es posible manipularlas, no se tiene control directo sobre dichas variables ni se puede influir en ellas, porque ya sucedieron, al igual que sus efectos. (Hernández et al, 2014, p.152)

Al respecto, la presente investigación se basa en un método empírico, de un diseño no experimental debido a que no existe la intención de manipular las variables; y es de tipo transeccional, pues está orientado a una evaluación que se realizará en tiempos puntuales (para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años).

El nivel de esta investigación es correlacional, debido a que se analiza la relación entre los factores que inciden en la erosión hídrica (Precipitación, tipo de suelo, cobertura vegetal y pendiente) y la influencia de estos en la pérdida de suelos; asimismo, es descriptiva en donde solo se observan los fenómenos en su ambiente natural.

#### 3.2. Ámbito temporal y espacial

##### 3.2.1. Ubicación Geográfica

La Subcuenca de estudio ocupa una superficie de 1 159,49 km<sup>2</sup>, formando parte de la cuenca Chamaya, la cual ocupa una superficie de 8 138,75 km<sup>2</sup> ubicada en la costa central del

Perú hacia el norte del departamento de Lima, comprendida entre las coordenadas geográficas 11°00' y 11°39' de Latitud Sur y los Meridianos 76°26' y 77°15' de Longitud Oeste.

### **3.2.2. Demarcación Hidrográfica**

La cuenca Chamaya tiene sus límites con las siguientes cuencas:

- Por el Norte: Cuenca piura, Cuenca chira y la Cuenca Chinchipe.
- Por el Este: Cuenca Chinchipe, Intercuenca Alto Marañón III y IV.
- Por el Sur: Cuenca Chancay-Lambayeque y la Intercuenca Alto Marañón IV.
- Por el Oeste: Cuenca Piura, Cuenca Cascajal, Cuenca Olmos y la Cuenca Motupe.

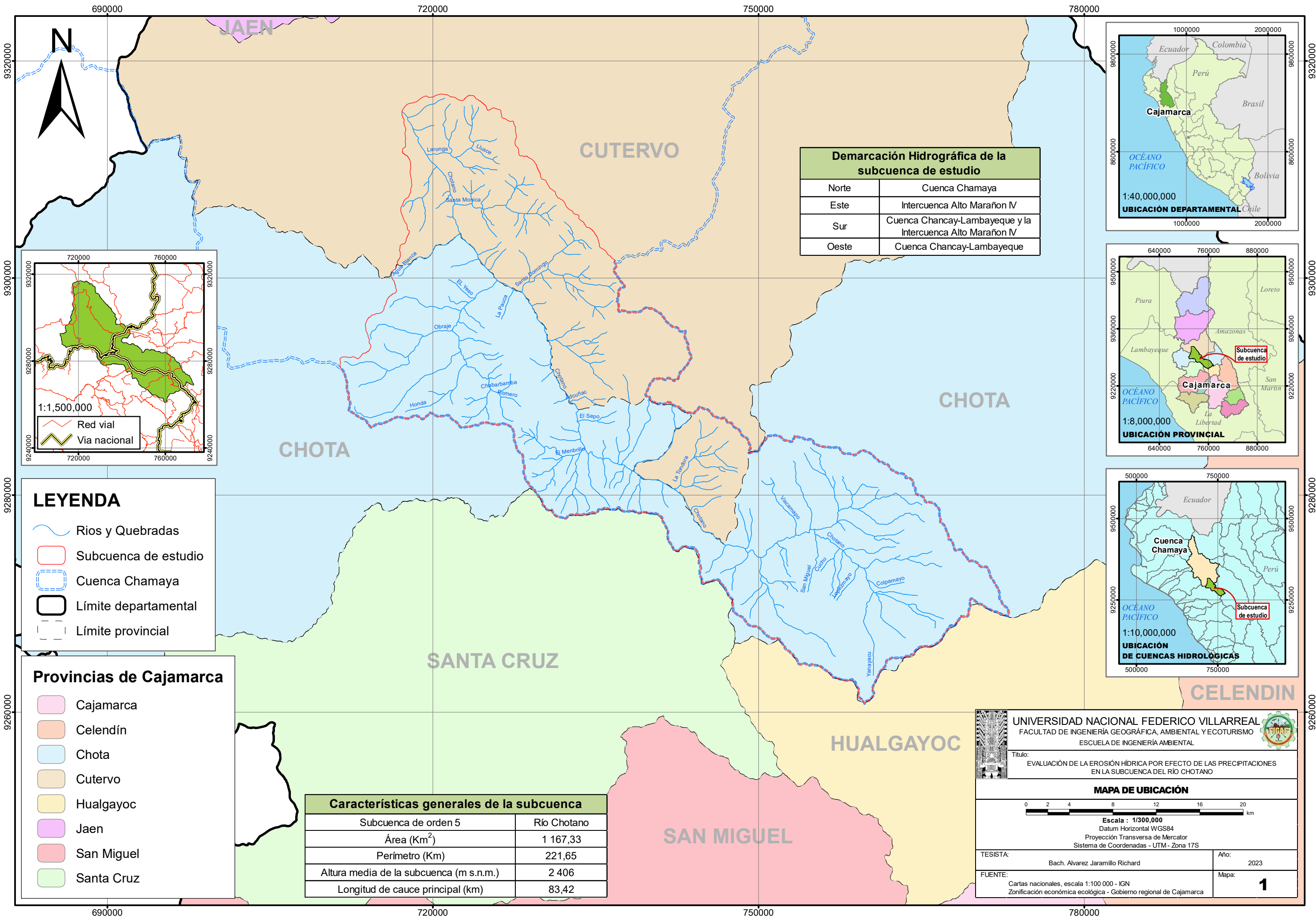
La Subcuenca de estudio tiene sus límites con las siguientes cuencas:

- Por el Norte: Cuenca Chamaya.
- Por el Este: Intercuenca Alto Marañón IV.
- Por el Sur: Cuenca Chancay-Lambayeque y la Intercuenca Alto Marañón IV.
- Por el Oeste: Cuenca Chancay-Lambayeque.

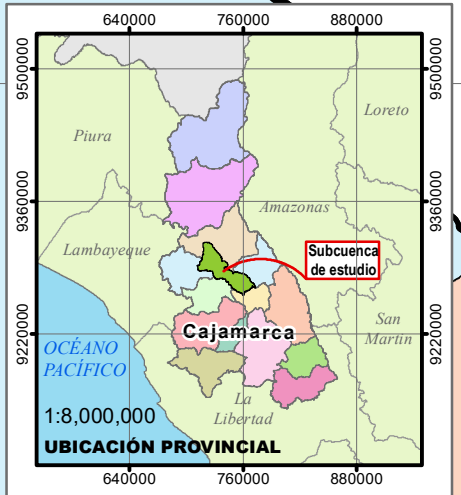
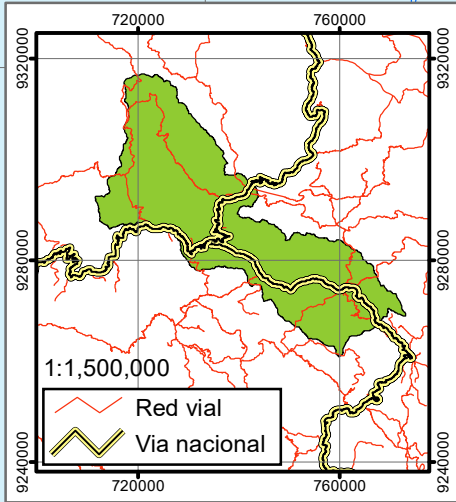
### **3.2.3. Demarcación Política**

Políticamente la cuenca Chamaya se ubica entre los departamentos de Cajamarca (5 811,336 km<sup>2</sup>, provincia de Jaen, Cutervo y Chota), Piura (1907,284 km<sup>2</sup>, provincia de Huancabamba) y Lambayeque (420,125 km<sup>2</sup>, provincia de Lambayeque y Ferreñafe).

La subcuenca de estudio corresponde al río Chotano que está ubicado dentro del departamento de Cajamarca y abarca en mayor proporción a la provincia de Chota y en menor proporción a la provincia de Cutervo; asimismo, comprende parte de los distritos de Querocoto, Chota, Huambos, Cochambamba, Lajas, Cutervo, Querocotillo y Chancaybaños.



Demarcación Hidrográfica de la subcuenca de estudio	
Norte	Cuenca Chamaya
Este	Intercuenca Alto Marañón IV
Sur	Cuenca Chancay-Lambayeque y la Intercuenca Alto Marañón IV
Oeste	Cuenca Chancay-Lambayeque



**LEYENDA**

- Ríos y Quebradas
- Subcuenca de estudio
- Cuenca Chamaya
- Límite departamental
- Límite provincial

**Provincias de Cajamarca**

- Cajamarca
- Celendín
- Chota
- Cutervo
- Hualgayoc
- Jaen
- San Miguel
- Santa Cruz

Características generales de la subcuenca	
Subcuenca de orden 5	Río Chotano
Área (Km <sup>2</sup> )	1 167,33
Perímetro (Km)	221,65
Altura media de la subcuenca (m s.n.m.)	2 406
Longitud de cauce principal (km)	83,42

**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Título: EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR EFECTO DE LAS PRECIPITACIONES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHOTANO

**MAPA DE UBICACIÓN**

Escala : 1/300,000  
 Datum Horizontal WGS84  
 Proyección Transversa de Mercator  
 Sistema de Coordenadas - UTM - Zona 17S

TESISTA: Bach. Alvarez Jaramillo Richard Año: 2023

FUENTE: Cartas nacionales, escala 1:100 000 - IGN  
 Zonificación económica ecológica - Gobierno regional de Cajamarca

Mapa: **1**

### **3.2.4. Accesibilidad**

Se puede ir a la provincia de Chota desde la provincia de Lima mediante bus y el tiempo de viaje puede variar entre 16 a 18 horas por carretera. También se puede hacer mediante un arribo desde la ciudad de Chiclayo en el departamento de Lambayeque, el viaje desde Lima duraría 10 horas aproximadamente y desde Chiclayo a Chota un promedio de 6 horas.

Para llegar a la provincia de Cutervo, es necesario arribar a Chiclayo y tomar la carretera que une Cutervo con la misma ciudad, viaje que duraría entre 4 a 5 horas por carretera. Asimismo, la provincia de Cutervo integra dos ejes de importancia para su desarrollo, la carretera Olmos - Corral quemado y la carretera Cutervo - Chiclayo.

### **3.2.5. Diagnostico físico**

#### **3.2.5.1. Características o parámetros fisiográficos**

Existe una estrecha correspondencia entre el régimen hidrológico y las características físicas de una cuenca, el conocimiento de éstos reviste una gran utilidad práctica al establecer relaciones y comparaciones de generalización de ellos con datos hidrológicos conocidos pueden determinar indirectamente valores hidrológicos en secciones de interés. (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2015, p. 16)

Seguidamente, se hace una descripción de las características fisiográficas y la estimación de las mismas para la subcuenca de estudio, donde se utiliza la información de cartas nacionales a escala 1/100 000 elaboradas por el IGN:

**A. Área (A).** Se refiere al área de la proyección horizontal de la cuenca, conocida también como área de recepción o de drenaje, se obtiene después de delimitar la cuenca a

través de una imaginaria línea llamada parteaguas, divisora de agua o *divortium acuarum*. (Villón, 2002)

El área define las características del escurrimiento ligado a la magnitud y frecuencia de la precipitación; el área estimada para la subcuenca de estudio es de 1 167,33 km<sup>2</sup>.

**B. Longitud de cauce principal (Lc).** Es el mayor recorrido que realiza el río desde la cabecera de la cuenca, siguiendo todos los cambios de dirección o sinuosidades hasta un punto fijo, que puede ser una estación de aforo o desembocadura. (ANA, 2015, p. 19)

El cauce principal de la subcuenca de estudio posee una longitud de 83,42 km.

**C. Perímetro (P).** Según Villón (2002), se refiere a la longitud de los contornos de la cuenca (*divortium acuarum*) formado por los puntos de mayor nivel topográfico y cruza las corrientes en los puntos de salida, llamado estación de aforo. Es característico para cada cuenca, pues su magnitud será diferente aun cuando su área sea igual a otra.

El perímetro estimado es de 221,65 km para la subcuenca de estudio.

**D. Ancho medio (B).** Expresa la relación del área de una cuenca con la longitud más larga del río que existe en dicha cuenca. (Villón, 2002)

$$B = \frac{A}{Lc} = \frac{1167,33}{83,42} \quad (27)$$

donde:

B = ancho medio

A = área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

Lc = longitud del curso más largo (km)

Para la subcuenca del río Chotano se determina un B = 13,993 km.



**E. Factor de forma (Ff).** Es otro índice numérico con el que se puede expresar la forma y la menor o mayor tendencia a crecientes de una determinada cuenca; indicando el tipo de elongación que posee, es decir, una cuenca tiende a ser alargada si el factor de forma tiende a cero, mientras que su forma es redonda cuando el factor forma tiende a uno. (ANA, 2015, p .17)

$$Ff = \frac{B}{Lc} = \frac{13,993}{83,42} \quad Ff = \frac{A}{Lc^2} = \frac{1167,33}{83,42^2} \quad (28)$$

donde:

Ff = factor de forma

B = ancho medio

A = área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

Lc = longitud del curso más largo (km)

Se determina un valor de Ff = 0,168 para la subcuenca de estudio.

Córdova (2016), indica la forma que puede adoptar una cuenca según los rangos aproximados del factor de forma.

**Tabla 11**

*Rangos aproximados del factor de forma.*

<b>Factor de forma</b>	<b>Forma de la cuenca</b>
< 0,22	Muy alargada
0,22 a 0,30	Alargada
0,30 a 0,37	Ligeramente alargada
0,37 a 0,45	Ni alargada ni ensanchada
0,45 a 0,60	Ligeramente ensanchada
0,60 a 0,80	Ensanchada
0,80 a 1,20	Muy ensanchada
> 1,20	Rodeando el desagüe

Nota. Valores indicados por Pérez en los Fundamentos del ciclo hidrológico del año 1979, tomado de los *Parámetros geomorfológicos de cuencas hidrográficas*, por Córdova, 2016.

Este factor establece la dinámica de la escorrentía superficial en una cuenca, las cuencas con formas alargadas presentan un flujo de agua más veloz a comparación de las cuencas redondeadas, logrando una evacuación de la cuenca más rápida y un mayor desarrollo de energía cinética en el arrastre de sedimentos hacia el nivel de base, presentando una baja susceptibilidad a inundaciones. (Caicedo, 2016, p. 32)

El valor calculado de 0,168 para el factor de forma de la subcuenca de estudio indica que presenta una forma muy alargada.

**F. Coeficiente de compacidad ( $K_c$ ).** Es la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro equivalente de una circunferencia que tiene la misma área de la cuenca. (Villón, 2002, p. 41)

$$K_c = \frac{\text{perímetro de la cuenca}}{2r\pi} = \frac{P}{P_o} \quad (29)$$

$$K_c = \frac{P}{2\pi\sqrt{\frac{A}{\pi}}} = \frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot A}} \quad K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad K_c = 0.28 \frac{221,65}{\sqrt{1167,33}} \quad (30)$$

donde:

$K_c$  = coeficiente de compacidad

$P$  = perímetro de la cuenca (km)

$P_o$  = perímetro de una circunferencia

$A$  = área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

Se determina un valor de  $K_c = 1,816$  para la subcuenca de estudio.

Villón (2002), señala que, el índice de compacidad expresa la influencia del perímetro y el área de una cuenca en la escorrentía. Si  $K_c = 1$ , la cuenca será de forma circular; para cuencas alargadas se estima un  $K_c > 1$ . Las cuencas de forma alargada reducen las probabilidades de que sean cubiertas en su totalidad por una tormenta. (p. 42)

El valor calculado de 1,816 indica que la subcuenca de estudio es irregular, alargada o asimétrica.

**G. Altitud media de la cuenca (H).** La altitud media de una cuenca (H) es importante por la influencia que ejerce sobre la precipitación, sobre las pérdidas de agua por evaporación, transpiración y consecuentemente sobre el caudal medio. (ANA, 2015, p. 18)

En la altitud media, el 50% del área de la cuenca, está situado por encima de esa altitud y el otro 50% está situado por debajo de ella. (Villón, 2002, p. 37)

$$H = \frac{\sum(a \cdot e)}{A} \quad (31)$$

donde:

H = altitud media de la cuenca (m s.n.m.)

a = área contenida entre las curvas de nivel (km<sup>2</sup>)

e = altitud media de cada tramo de área (m s.n.m.)

A = área total de la cuenca (km<sup>2</sup>)

**Tabla 12**

*Cálculos para la obtención de la altitud media de la subcuenca de estudio.*

<b>Datos de altitudes en la subcuenca del río Chotano</b>				
<b>Altitudes (m s.n.m.)</b>		<b>a (km<sup>2</sup>)</b>	<b>b (m s.n.m.)</b>	<b>a · e</b>
1 000	1 200	7,76	1 100	8 536
1 200	1 400	23,48	1 300	30 524
1 400	1 600	48,89	1 500	73 335
1 600	1 800	76,70	1 700	130 390
1 800	2 000	97,23	1 900	184 737
2 000	2 200	138,54	2 100	290 934
2 200	2 400	211,10	2 300	485 530
2 400	2 600	164,34	2 500	410 850
2 600	2 800	142,83	2 700	385 641
2 800	3 000	102,29	2 900	296 641
3 000	3 200	61,17	3 100	189 627

<b>Datos de altitudes en la subcuenca del río Chotano</b>				
<b>Altitudes (m s.n.m.)</b>		<b>a (km<sup>2</sup>)</b>	<b>b (m s.n.m.)</b>	<b>a · e</b>
3 200	3 400	41,42	3 300	136 686
3 400	3 600	29,27	3 500	102 445
3 600	3 800	22,31	3 700	825 47
<b>Área Total</b>		1 167,33	<b>Σ(a · e)</b>	2 808 423
<b>Altitud media</b>			2 406 m s.n.m.	

**H. Pendiente media del cauce principal (Ic).** Es la relación entre el desnivel que hay entre los extremos del cauce y la proyección horizontal de su longitud. (Villón, 2002, p. 55)

$$I_c = \frac{HM - H_m}{L_c} \cdot 100\% \quad I_c = \frac{3,8 - 1,0}{83,42} \cdot 100\% \quad (32)$$

donde:

Ic = pendiente media del cauce (%)

HM = altitud máxima del cauce (km)

Hm = altitud mínima del cauce (km)

Lc = longitud del cauce (km)

Para la subcuenca de estudio se determina un valor de Ic = 3,36%.

Córdova (2016), indica valores referentes para la pendiente media del cauce principal.

**Tabla 13**

*Rangos aproximados de la pendiente media del cauce principal.*

<b>Pendiente media del cauce principal (%)</b>	<b>Clases</b>
1 a 5	Suave
6 a 11	Moderado
12 a 17	Fuerte

Nota. Valores indicados por IBAL S.A. en el Plan de Ordenación y Manejo Ambiental de la Microcuenca de las Quebradas Las Panelas y La Balsa del año 2009, tomado de los *Parámetros geomorfológicos de cuencas hidrográficas*, por Córdova, 2016.

Su influencia en el comportamiento hidrológico se refleja en la velocidad de las aguas en el cauce, lo que a su vez determina la rapidez de respuesta de la cuenca ante eventos pluviales intensos y la capacidad erosiva de las aguas como consecuencia de su energía cinética. (ANA, 2015, p. 19)

**I. Coeficiente de masividad ( $C_m$ ).** Córdova (2016), señala que, este parámetro resulta de la relación entre la altitud media de la cuenca y el área de la misma. Su resultado es alto para cuencas de cumbres altas y bajo en cuencas donde predominan terrenos planos que presentan áreas similares.

Se determina mediante la expresión:

$$C_m = \frac{H}{A} \quad C_m = \frac{2\,406}{1\,167,33} \quad (33)$$

donde:

$C_m$  = coeficiente de masividad

$H$  = altitud media de la cuenca (m s.n.m.)

$A$  = área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

Se determina un valor de  $C_m = 2,061 \text{ m/Km}^2$  para la subcuenca de estudio.

**J. Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes.** Es la curva que puesta en coordenadas rectangulares representa la relación entre la altitud y la superficie de la cuenca que queda sobre esa altitud. (Villón, 2002, p. 34)

El polígono de frecuencias de altitudes es la representación gráfica de la distribución en porcentaje de las superficies ocupadas por diferentes altitudes. (Villón, 2002, p. 37)

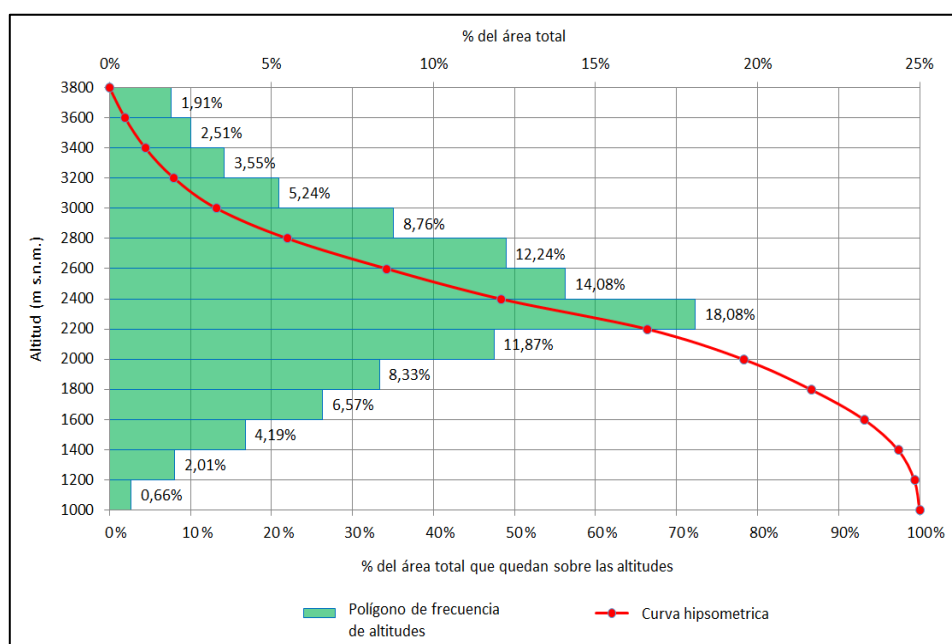
Tabla 14

*Cálculos para obtener la curva hipsométrica y el polígono de frecuencias.*

Altitud (m s.n.m.)	Áreas parciales (km <sup>2</sup> )	Áreas acumuladas (Km <sup>2</sup> )	Áreas que quedan sobre las altitudes (Km <sup>2</sup> )	% del área total	% del total que quedan sobre las altitudes
Más baja 1000	0,00	0,00	1167,33	0,00	100,00
1200	7,76	7,76	1159,57	0,66	99,34
1400	23,48	31,24	1136,09	2,01	97,32
1600	48,89	80,13	1087,20	4,19	93,14
1800	76,70	156,83	1010,50	6,57	86,57
2000	97,23	254,06	913,27	8,33	78,24
2200	138,54	392,60	774,73	11,87	66,37
2400	211,10	603,70	563,63	18,08	48,28
2600	164,34	768,04	399,29	14,08	34,21
2800	142,83	910,87	256,46	12,24	21,97
3000	102,29	1013,16	154,17	8,76	13,21
3200	61,17	1074,33	93,00	5,24	7,97
3400	41,42	1115,75	51,58	3,55	4,42
3600	29,27	1145,02	22,31	2,51	1,91
Más alta 3800	22,31	1167,33	0,00	1,91	0,00
<b>Total</b>	1167,33	-	-	100,00	-

Figura 2

*Curva hipsométrica y polígono de frecuencias de altitudes.*



Nota. Se observa que trazando una perpendicular desde el eje de las abscisas desde el valor del 50% hasta interceptar la curva hipsométrica se obtiene la altitud media de la cuenca.

**K. Rectángulo equivalente.** Es la transformación geométrica de la cuenca en un rectángulo ideal que tiene la misma área y perímetro. En el rectángulo equivalente, las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas al lado menor, siendo estas la primera y la última curva de nivel, respectivamente. (Ministerio de Agricultura y Alimentación, 1978, citado por Córdova, 2016)

$$L = \frac{P}{4} + \sqrt{\frac{P^2}{16} - A} \quad l = \frac{P}{4} - \sqrt{\frac{P^2}{16} - A} \quad (34)$$

$$L \cdot l = A \quad 2(L+l) = P \quad (35)$$

donde:

L = longitud del lado mayor del rectángulo equivalente (km)

l = longitud del lado menor del rectángulo equivalente (km)

P = perímetro de la cuenca (km)

A = área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

Aplicando la *ecuación*(34) se determina los siguientes valores de longitudes del lado mayor y menor del rectángulo equivalente para la subcuenca de estudio:

$$L = \frac{221,65}{4} + \sqrt{\frac{221,65^2}{16} - 1167,33}$$

$$l = \frac{221,65}{4} - \sqrt{\frac{221,65^2}{16} - 1167,33}$$

$$L = 99,0384 \text{ km} \quad l = 11,7866 \text{ km}$$

Dividiendo cada área parcial, entre el lado menor del rectángulo equivalente, se obtiene la siguiente distribución para los segmentos del lado mayor:

**Tabla 15**

*Cálculos de los segmentos del lado mayor del rectángulo equivalente.*

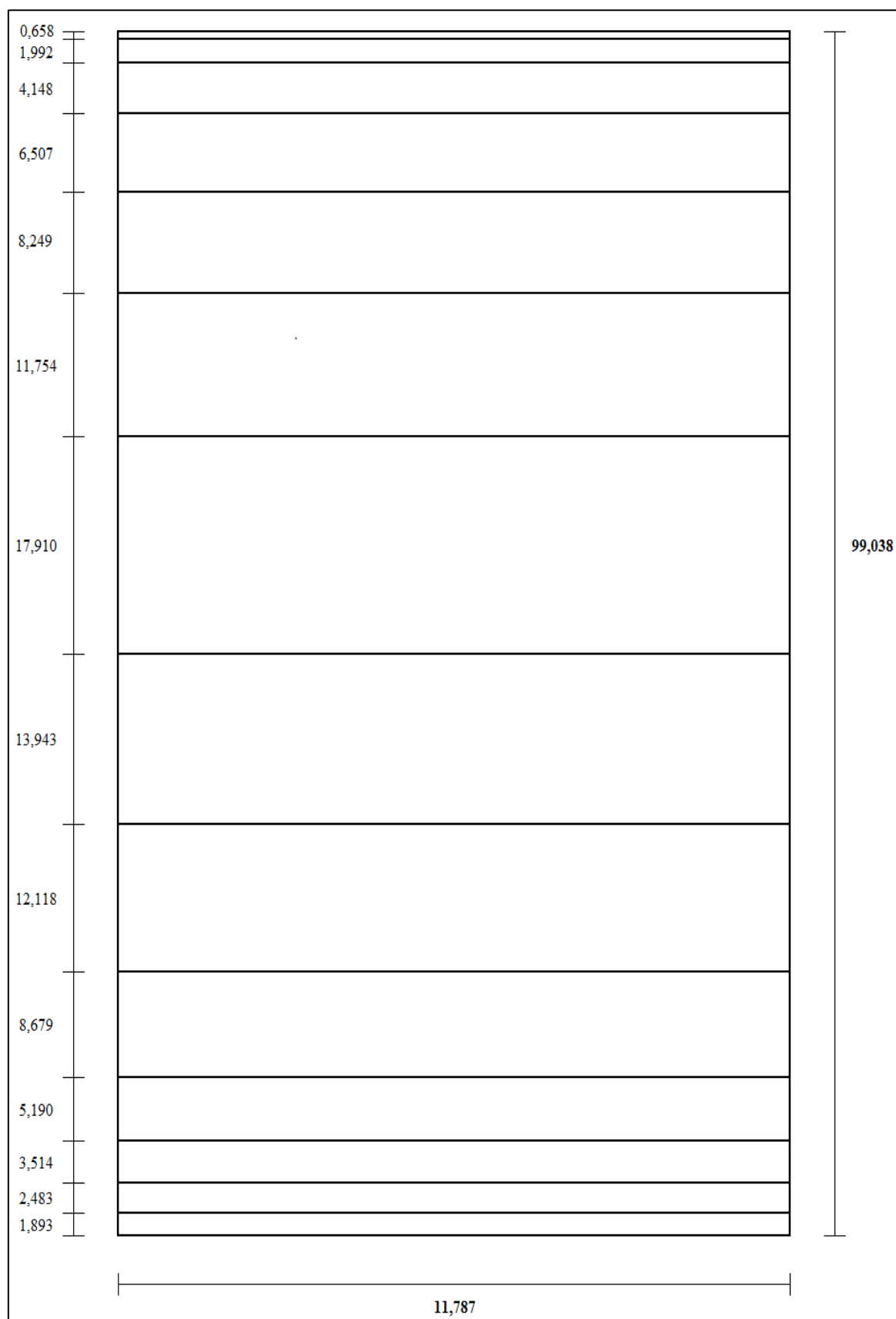
<b>Datos del rectángulo equivalente para la subcuenca del río Chotano</b>					
<b>N</b>	<b>Altitudes (m s.n.m.)</b>		<b>Área parcial entre altitudes (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Lado menor (Km)</b>	<b>Segmentos del Lado mayor (km)</b>
<b>L1</b>	1000	1200	7,76	11,7866	0,658
<b>L2</b>	1200	1400	23,48	11,7866	1,992
<b>L3</b>	1400	1600	48,89	11,7866	4,148
<b>L4</b>	1600	1800	76,70	11,7866	6,507
<b>L5</b>	1800	2000	97,23	11,7866	8,249
<b>L6</b>	2000	2200	138,54	11,7866	11,754
<b>L7</b>	2200	2400	211,10	11,7866	17,910
<b>L8</b>	2400	2600	164,34	11,7866	13,943
<b>L9</b>	2600	2800	142,83	11,7866	12,118
<b>L10</b>	2800	3000	102,29	11,7866	8,679
<b>L11</b>	3000	3200	61,17	11,7866	5,190
<b>L12</b>	3200	3400	41,42	11,7866	3,514
<b>L13</b>	3400	3600	29,27	11,7866	2,483
<b>L14</b>	3600	3800	22,31	11,7866	1,893
<b>Total</b>			1167,33	-	99,038

Con los datos obtenidos en la *Tabla 15* se realiza la representación geométrica de forma heterogénea de la subcuenca de estudio.



**Figura 3**

*Rectángulo equivalente de la subcuena.*



**L. Índice de pendiente ( $I_p$ ).** Es una ponderación que se establece entre las pendientes y el tramo recorrido por el río. Con este valor se establece el tipo de granulometría que se encuentra en el cauce, en cierto modo, expresa el relieve de la cuenca. (Villón, 2002, p. 49)

Se determina utilizando el rectángulo equivalente, con la siguiente ecuación:

$$I_p = \sum_{i=2}^n \sqrt{\beta_i(a_i - a_{i-1})} \cdot \frac{1}{\sqrt{L}} \quad (36)$$

$$\beta_i = \frac{A_i}{A_t} \quad (37)$$

donde:

$I_p$  = índice de pendiente

$n$  = número de curvas de nivel existente en el rectángulo equivalente

$a_1, a_2, a_3 \dots a_n$  = cotas de las  $n$  curvas de nivel consideradas (km)

$\beta_i$  = fracción de la superficie total de la cuenca comprendida entre las cotas  $a_i - a_{i-1}$

$L$  = longitud del lado mayor del rectángulo equivalente (km)

Dicha fórmula también puede interpretarse de la siguiente manera:

$$I_p = \sum \sqrt{\beta(a)} \cdot \frac{1}{\sqrt{L}} \quad (38)$$

donde:

$I_p$  = índice de pendiente

$a$  = diferencia de cotas de las curvas de nivel en cada tramo de área (km)

$\beta$  = área contenida entre las curvas de nivel (km<sup>2</sup>)

$L$  = longitud del lado mayor del rectángulo equivalente (km)

**Tabla 16**

*Cálculos para obtener del índice de pendiente.*

Altitudes (m s.n.m.)		$\beta$ (km <sup>2</sup> )	$a$ (km)	$\beta \cdot a$	$\sqrt{\beta \cdot a}$
1000	1200	7,76	0,2	1,55	1,25
1200	1400	23,48	0,2	4,70	2,17
1400	1600	48,89	0,2	9,78	3,13
1600	1800	76,70	0,2	15,34	3,92
1800	2000	97,23	0,2	19,45	4,41
2000	2200	138,54	0,2	27,71	5,26
2200	2400	211,10	0,2	42,22	6,50
2400	2600	164,34	0,2	32,87	5,73
2600	2800	142,83	0,2	28,57	5,34
2800	3000	102,29	0,2	20,46	4,52
3000	3200	61,17	0,2	12,23	3,50
3200	3400	41,42	0,2	8,28	2,88
3400	3600	29,27	0,2	5,85	2,42
3600	3800	22,31	0,2	4,46	2,11
<b>Área total</b>		1 167,33	$\Sigma \sqrt{\beta \cdot a}$		53,14
<b>Lado mayor</b>		99,038	<b>Ip</b>	5,34	

**M. Pendiente de la cuenca (S).** Es uno de los factores, que controla el tiempo de escurrimiento y concentración de la lluvia en los canales de drenaje, y tiene una importancia directa en relación a la magnitud de las crecidas. Para hallar su valor se toma la pendiente media del rectángulo equivalente. (Villón, 2002, p. 49-50)

$$S = \frac{H}{L} \cdot 100\% \quad S = \frac{3,8 - 1,0}{99,038} \cdot 100\% \quad (39)$$

donde:

S = pendiente de la cuenca (%)

H = desnivel total (cota en la parte más alta - cota en la estación de aforo) km

L = longitud del lado mayor del rectángulo equivalente (km)

Para la subcuena de estudio se determina un valor de  $S = 2,83\%$

**Tabla 17**

*Rangos aproximados de la pendiente media.*

<b>Pendiente media (%)</b>	<b>Terrenos</b>
0 a 2	Llano
2 a 5	Suave
5 a 10	Accidentado medio
10 a 15	Accidentado
15 a 25	Fuertemente accidentado
25 a 50	Escarpado
> 50	Muy escarpado

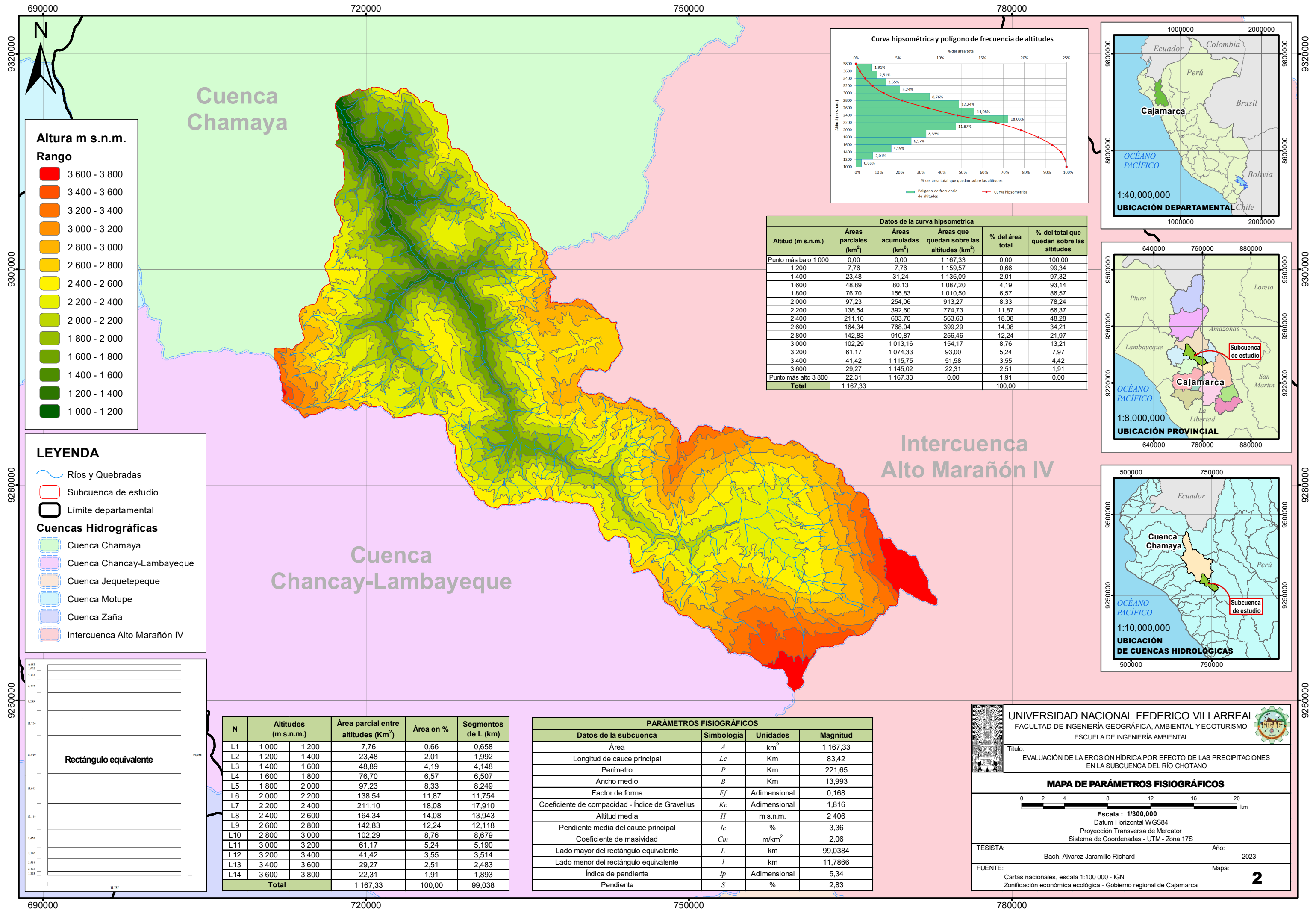
Nota. Valores determinados por Pérez en los Fundamentos del ciclo hidrológico del año 1979, tomado de los *Parámetros geomorfológicos de cuencas hidrográficas*, por Córdova, 2016.

A continuación, se presenta un resumen de los valores determinados para los parámetros fisiográficos de la subcuenca perteneciente al río Chotano:

**Tabla 18**

*Parámetros fisiográficos calculados para la subcuenca de estudio.*

<b>Datos de la subcuenca</b>	<b>Simbología</b>	<b>Unidades</b>	<b>Magnitud</b>
Área	<i>A</i>	km <sup>2</sup>	1 167,330
Longitud de cauce principal	<i>Lc</i>	Km	83,420
Perímetro	<i>P</i>	Km	221,650
Ancho medio	<i>B</i>	Km	13,993
Factor de forma	<i>Ff</i>	Adimensional	0,168
Coefficiente de compacidad - Índice de Gravelius	<i>Kc</i>	Adimensional	1,816
Altitud media	<i>H</i>	m s.n.m.	2406
Pendiente media del cauce principal	<i>Ic</i>	%	3,360
Coefficiente de masividad	<i>Cm</i>	m/km <sup>2</sup>	2,060
Lado mayor del rectángulo equivalente	<i>L</i>	km	99,038
Lado menor del rectángulo equivalente	<i>l</i>	km	11,787
Índice de pendiente	<i>Ip</i>	Adimensional	5,340
Pendiente	<i>S</i>	%	2,830



**Altura m s.n.m.**

**Rango**

3 600 - 3 800
3 400 - 3 600
3 200 - 3 400
3 000 - 3 200
2 800 - 3 000
2 600 - 2 800
2 400 - 2 600
2 200 - 2 400
2 000 - 2 200
1 800 - 2 000
1 600 - 1 800
1 400 - 1 600
1 200 - 1 400
1 000 - 1 200

**LEYENDA**

- Ríos y Quebradas
- Subcuenca de estudio
- Límite departamental

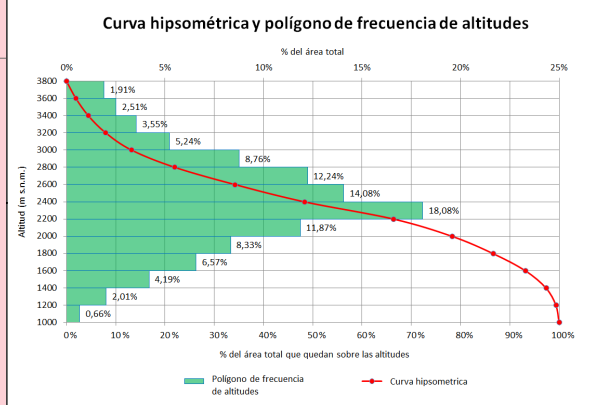
**Cuencas Hidrográficas**

- Cuenca Chamaya
- Cuenca Chancay-Lambayeque
- Cuenca Jequetepeque
- Cuenca Motupe
- Cuenca Zaña
- Intercuenca Alto Marañón IV

N	Altitudes (m s.n.m.)	Área parcial entre altitudes (Km <sup>2</sup> )	Área en %	Segmentos de L (km)
L1	1 000	1 200	7,76	0,658
L2	1 200	1 400	23,48	1,992
L3	1 400	1 600	48,89	4,148
L4	1 600	1 800	76,70	6,507
L5	1 800	2 000	97,23	8,249
L6	2 000	2 200	138,54	11,754
L7	2 200	2 400	211,10	18,08
L8	2 400	2 600	164,34	14,08
L9	2 600	2 800	142,83	12,24
L10	2 800	3 000	102,29	8,76
L11	3 000	3 200	61,17	5,24
L12	3 200	3 400	41,42	3,55
L13	3 400	3 600	29,27	2,483
L14	3 600	3 800	22,31	1,893
<b>Total</b>		<b>1 167,33</b>	<b>100,00</b>	<b>99,038</b>

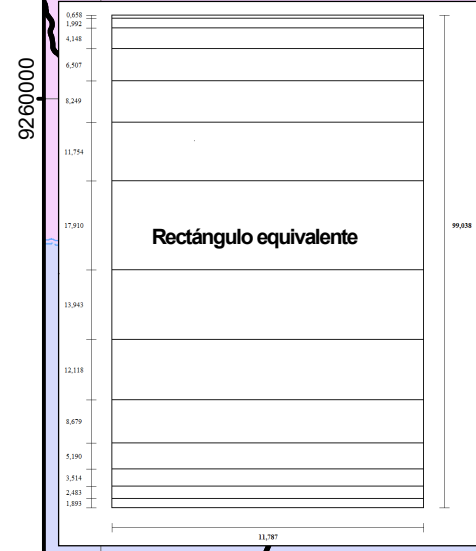
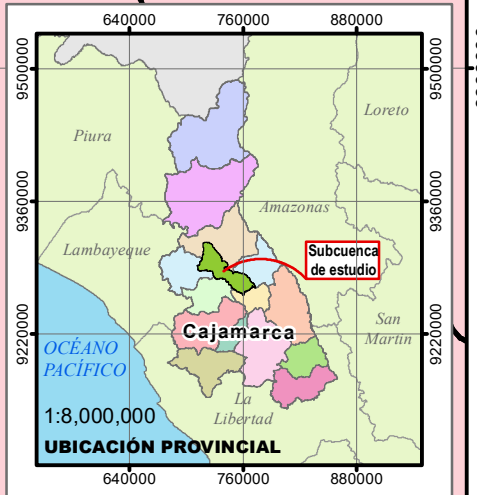
**PARÁMETROS FISIográfICOS**

Datos de la subcuenca	Simbología	Unidades	Magnitud
Área	<i>A</i>	km <sup>2</sup>	1 167,33
Longitud de cauce principal	<i>Lc</i>	Km	83,42
Perímetro	<i>P</i>	Km	221,65
Ancho medio	<i>B</i>	Km	13,993
Factor de forma	<i>Ff</i>	Adimensional	0,168
Coefficiente de compacidad - Índice de Gravelius	<i>Kc</i>	Adimensional	1,816
Altitud media	<i>H</i>	m s.n.m.	2 406
Pendiente media del cauce principal	<i>lc</i>	%	3,36
Coefficiente de masividad	<i>Cm</i>	m/km <sup>2</sup>	2,06
Lado mayor del rectángulo equivalente	<i>L</i>	km	99,0384
Lado menor del rectángulo equivalente	<i>l</i>	km	11,7866
Índice de pendiente	<i>lp</i>	Adimensional	5,34
Pendiente	<i>S</i>	%	2,83



**Datos de la curva hipsométrica**

Altitud (m s.n.m.)	Áreas parciales (km <sup>2</sup> )	Áreas acumuladas (km <sup>2</sup> )	Áreas que quedan sobre las altitudes (km <sup>2</sup> )	% del área total	% del total que quedan sobre las altitudes
Punto más bajo 1 000	0,00	0,00	1 167,33	0,00	100,00
1 200	7,76	7,76	1 159,57	0,66	99,34
1 400	23,48	31,24	1 136,09	2,01	97,32
1 600	48,89	80,13	1 087,20	4,19	93,14
1 800	76,70	156,83	1 010,50	6,57	86,57
2 000	97,23	254,06	913,27	8,33	78,24
2 200	138,54	392,60	774,73	11,87	66,37
2 400	211,10	603,70	563,63	18,08	48,28
2 600	164,34	768,04	399,29	14,08	34,21
2 800	142,83	910,87	256,46	12,24	21,97
3 000	102,29	1 013,16	154,17	8,76	13,21
3 200	61,17	1 074,33	93,00	5,24	7,97
3 400	41,42	1 115,75	51,58	3,55	4,42
3 600	29,27	1 145,02	22,31	2,51	1,91
Punto más alto 3 800	22,31	1 167,33	0,00	1,91	0,00
<b>Total</b>	<b>1 167,33</b>	<b>1 167,33</b>	<b>0,00</b>	<b>100,00</b>	



**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Título:  
 EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR EFECTO DE LAS PRECIPITACIONES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHOTANO

**MAPA DE PARÁMETROS FISIográfICOS**

0 2 4 8 12 16 20 km

Escala : 1/300,000  
 Datum Horizontal WGS84  
 Proyección Transversa de Mercator  
 Sistema de Coordenadas - UTM - Zona 17S

TESISTA: Bach. Alvarez Jaramillo Richard Año: 2023

FUENTE: Cartas nacionales, escala 1:100 000 - IGN  
 Zonificación económica ecológica - Gobierno regional de Cajamarca Mapa: **2**

### 3.2.5.2. Red de drenaje

Son las trayectorias o el arreglo que guardan entre sí los cauces de las corrientes dentro de una cuenca. Determina la eficiencia del sistema de drenaje en el escurrimiento resultante, es decir, la rapidez con que desaloja la cantidad de agua que recibe. La forma de drenaje, proporciona también indicios de las condiciones del suelo y de la superficie de la cuenca. (Villón, 2002, p. 60)

Seguidamente, se hace una descripción de las características de la red de drenaje de la subcuenca de estudio y la estimación de las mismas:

**A. Orden de las corrientes.** Proporciona el grado de bifurcación dentro de la cuenca, por lo cual, es necesario incluir tanto corrientes perennes como intermitentes. Las corrientes de orden uno son aquellas que no tienen ningún tributario; las de orden dos son las que solo tienen tributarios de orden uno; las de orden tres aquellas corrientes con dos o más tributarios de orden dos, etc. De este modo, el orden de la principal indicara la extensión de la red de corrientes dentro de la cuenca. (Villón, 2002, p. 61)

**B. Razón de bifurcación ( $R_b$ ).** Córdova (2016), señala que, es un parámetro que resulta de la relación entre el número de cauces de un orden dado y el número de cauces del orden inmediatamente superior.

Valores muy altos de esta relación están determinados a terrenos escarpados donde los suelos son muy erosionables. Además, estas cuencas presentan una amplia red hidrográfica con muchos cauces tributarios con rápida respuesta a la precipitación. (Aparicio, 1996, citado por Córdova, 2016)

Su razón es la siguiente:

$$Rb = \frac{N_n}{N_{n+1}} \quad (40)$$

donde:

Rb = razón de bifurcación

$N_n$  = número de cauces de un orden dado

$N_{n+1}$  = número de cauces de un orden inmediatamente superior

Aplicando la *ecuación(40)* se determinan los siguientes valores de razón de bifurcación para la subcuenca de estudio:

$$Rb_1 = \frac{N_{orden1}}{N_{orden2}} = \frac{191}{51} = 3,75 \quad Rb_2 = \frac{N_{orden2}}{N_{orden3}} = \frac{51}{11} = 4,64$$

$$Rb_3 = \frac{N_{orden3}}{N_{orden4}} = \frac{11}{2} = 5,50 \quad Rb_4 = \frac{N_{orden4}}{N_{orden5}} = \frac{2}{1} = 2,00$$

**Tabla 19**

*Cantidad y longitud de las corrientes distribuidas de acuerdo a su orden.*

<b>Orden</b>	<b>Número total de tributarios</b>	<b>Longitud total de tributarios (km)</b>	<b>Razón de bifurcación</b>
<b>1</b>	191	453,22	3,75
<b>2</b>	51	122,70	4,64
<b>3</b>	11	57,67	5,50
<b>4</b>	2	48,37	2,00
<b>5</b>	1	21,46	-
<b>Total</b>	256	703,42	-

*C. Densidad de corriente o frecuencia de ríos (Dc).* Villón (2002), es la relación entre el número de corrientes y el área drenada. (p. 63)

$$Dc = \frac{Nc}{A} \quad Dc = \frac{256}{1167,33} \quad (41)$$

donde:

$D_c$  = densidad de corriente

$N_c$  = número de corrientes perennes e intermitentes

$A$  = área de la cuenca ( $\text{km}^2$ )

Determinando un valor de  $D_c = 0,219$  ríos/ $\text{Km}^2$  para la subcuenca de estudio.

La corriente principal se cuenta como una desde su nacimiento hasta su desembocadura. Después se tendrán todos los tributarios de orden inferior, desde su nacimiento hasta la unión con la corriente principal, y así sucesivamente, hasta llegar a los tributarios de orden uno. (Villón, 2002, p. 63)

**D. Coeficiente de torrencialidad ( $C_t$ ).** Este parámetro resulta de la relación entre el número de cauces de agua de orden uno y el área de la cuenca. A mayor número de cauces de orden uno y menor área, la torrencialidad de la cuenca será mayor, este resultado significa que el agua recorre muy poco para dirigirse a los cauces y la velocidad de descarga es mayor. (Romero, 1987, citado por Córdova, 2016)

$$C_t = \frac{N_1}{A} \quad D_c = \frac{191}{1167,33} \quad (42)$$

donde:

$C_t$  = coeficiente de torrencialidad

$N_c$  = número de cauces de orden uno

$A$  = área de la cuenca ( $\text{km}^2$ )

Para la subcuenca de estudio se determina un valor de  $C_t = 0,164$  ríos/ $\text{Km}^2$



**E. Densidad de drenaje (Dd).** Indica la naturaleza de los suelos en la cuenca y da una idea general de la cobertura vegetal que existe. Valores altos representan zonas con poca cobertura vegetal, suelos fácilmente erosionables o impermeables; por el contrario, valores bajos indican suelos duros, poco erosionables o muy permeables y cobertura vegetal densa. (Villón, 2002, p. 64)

Se expresa como la longitud de las corrientes por unidad de área.

$$Dd = \frac{Li}{A} \quad Dd = \frac{703,42}{1167,33} \quad (43)$$

donde:

Dd = densidad de drenaje

Li = longitud total de las corrientes perennes e intermitentes (km)

A = área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

Determinando un valor de Dd = 0,603 Km/Km<sup>2</sup> para la subcuenca de estudio

Córdova (2016), indica valores referenciales para la densidad de drenaje.

## Tabla 20

*Rangos aproximados de la densidad de drenaje.*

<b>Dd (Valores aproximados)</b>	<b>Clases</b>
0,1 a 1,8	Baja
1,9 a 3,6	Moderada
3,7 a 5,6	Alta

Nota. Valores indicados por IBAL S.A. en el Plan de Ordenación y Manejo Ambiental de la Microcuenca de las Quebradas Las Panelas y La Balsa del año 2009, tomado de los *Parámetros geomorfológicos de cuencas hidrográficas*, por Córdova, 2016.

**F. Extensión media de escurrimiento superficial ( $E_s$ ).** Este parámetro muestra la distancia media que el agua de la precipitación tendrá que transportar hasta un cauce de agua cercano. (Córdova, 2016)

$$E_s = \frac{A}{4 \cdot Li} \quad E_s = \frac{1167,33}{4 \cdot 703,42} \quad (44)$$

donde:

$E_s$  = extensión media de escurrimiento superficial

$A$  = superficie de la cuenca ( $\text{km}^2$ )

$Li$  = longitud total de los cursos de agua (km)

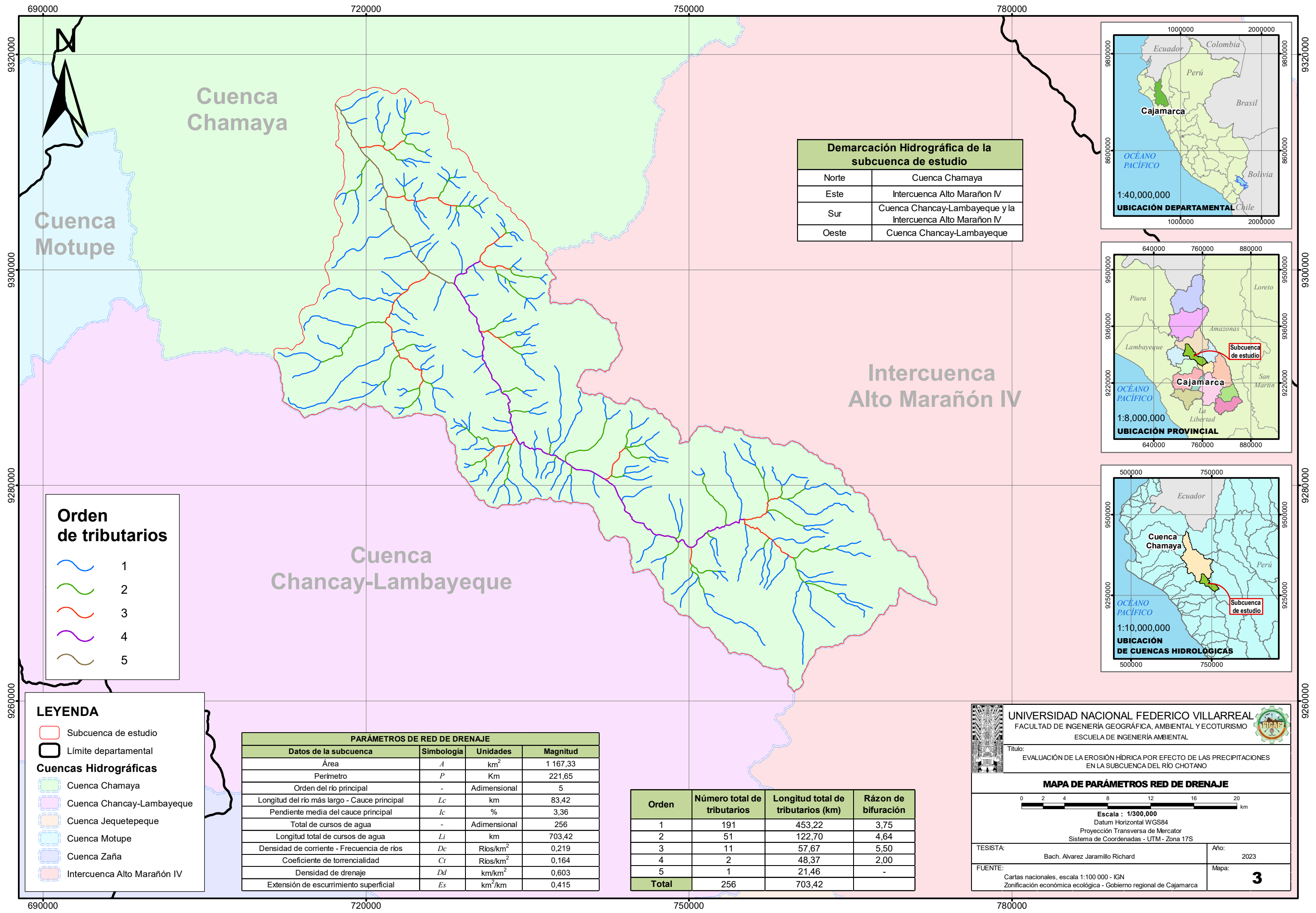
Para la subcuenca de estudio se determina un valor de  $E_s = 0,415 \text{ Km}^2/\text{Km}$

A continuación, se muestra un resumen de los valores determinados para los parámetros de la red de drenaje de la subcuenca perteneciente al río Chotano.

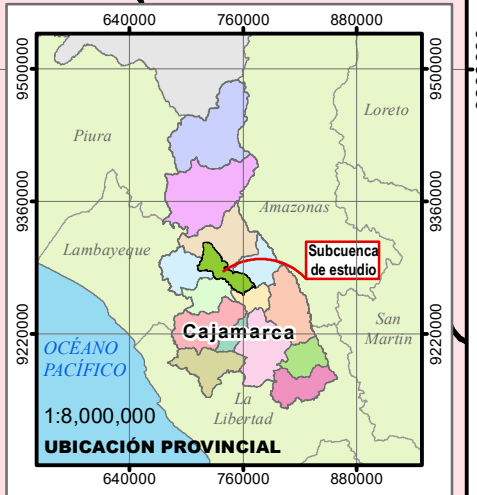
**Tabla 21**

*Parámetros de red de drenaje calculados para la subcuenca de estudio.*

<b>Datos de la subcuenca</b>	<b>Simbología</b>	<b>Unidades</b>	<b>Magnitud</b>
Orden del río principal	-	Adimensional	5
Cursos de agua	-	Adimensional	256
Longitud total de cursos de agua	Li	km	703,42
Densidad de corriente - Frecuencia de ríos	Dc	Ríos/ $\text{km}^2$	0,219
Coefficiente de torrencialidad	Ct	Ríos/ $\text{km}^2$	0,164
Densidad de drenaje	Dd	$\text{km}/\text{km}^2$	0,603
Extensión de escurrimiento superficial	Es	$\text{km}^2/\text{km}$	0,415



Demarcación Hidrográfica de la subcuenca de estudio	
Norte	Cuenca Chamaya
Este	Intercuenca Alto Marañón IV
Sur	Cuenca Chancay-Lambayeque y la Intercuenca Alto Marañón IV
Oeste	Cuenca Chancay-Lambayeque



Orden de tributarios	
	1
	2
	3
	4
	5

LEYENDA	
	Subcuenca de estudio
	Límite departamental
Cuencas Hidrográficas	
	Cuenca Chamaya
	Cuenca Chancay-Lambayeque
	Cuenca Jequetepeque
	Cuenca Motupe
	Cuenca Zaña
	Intercuenca Alto Marañón IV

PARÁMETROS DE RED DE DRENAJE			
Datos de la subcuenca	Simbología	Unidades	Magnitud
Área	<i>A</i>	km <sup>2</sup>	1 167,33
Perímetro	<i>P</i>	Km	221,65
Orden del río principal	-	Adimensional	5
Longitud del río más largo - Cauce principal	<i>Lc</i>	km	83,42
Pendiente media del cauce principal	<i>Jc</i>	%	3,36
Total de cursos de agua	-	Adimensional	256
Longitud total de cursos de agua	<i>Li</i>	km	703,42
Densidad de corriente - Frecuencia de ríos	<i>Dc</i>	Ríos/km <sup>2</sup>	0,219
Coefficiente de torrencialidad	<i>Ct</i>	Ríos/km <sup>2</sup>	0,164
Densidad de drenaje	<i>Dd</i>	km/km <sup>2</sup>	0,603
Extensión de escurrimiento superficial	<i>Es</i>	km <sup>2</sup> /km	0,415

Orden	Número total de tributarios	Longitud total de tributarios (km)	Razón de bifurcación
1	191	453,22	3,75
2	51	122,70	4,64
3	11	57,67	5,50
4	2	48,37	2,00
5	1	21,46	-
<b>Total</b>	<b>256</b>	<b>703,42</b>	

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Título:  
 EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR EFECTO DE LAS PRECIPITACIONES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHOTANO

**MAPA DE PARÁMETROS RED DE DRENAJE**

0 2 4 8 12 16 20 km

Escala : 1/300,000  
 Datum Horizontal WGS84  
 Proyección Transversa de Mercator  
 Sistema de Coordenadas - UTM - Zona 17S

TESISTA: Bach. Alvarez Jaramillo Richard Año: 2023

FUENTE: Cartas nacionales, escala 1:100 000 - IGN  
 Zonificación económica ecológica - Gobierno regional de Cajamarca Mapa: **3**

### 3.2.6. *Clima*

El clima es uno de los factores ecológicos que más influye sobre las características morfológicas, la distribución geográfica y el comportamiento funcional de las especies vegetales y animales, generando fenotipos adaptados al espacio ecogeográfico que ocupan. Los factores condicionantes del clima son, entre otros, la distribución anual de la temperatura y precipitación pluvial, y la resultante de la interacción entre estos factores: la evapotranspiración. (Gobierno Regional de Cajamarca, 2011, p. 28)

El clima de Cajamarca es la resultante de dos gradientes: temperatura y humedad, una en dirección longitudinal y otra en sentido latitudinal. La primera es causada por las nubes que se originan en la selva amazónica y que por movimientos de masas de aire son llevadas hacia el oeste; asimismo, la Cordillera de los Andes actúa como una barrera a este movimiento, provocando lluvia en sus vertientes orientales como en la Selva Alta. Las masas de aire que logran llegar a la Vertiente Occidental y a la Costa han perdido toda su humedad en el trayecto, ocasionando escasas o nulas precipitaciones y un clima cálido por la posición tropical, pero a la vez seco por la falta de lluvias. (Sánchez y Vásquez, 2010, p. 7-8)

Con respecto a la cuenca Chamaya, el río del mismo nombre se forma a partir de la confluencia de los ríos Huancabamba y Chotano en el departamento de Cajamarca, el cual presenta un clima seco, templado y soleado durante el día; y frío por las noches con temperaturas que van entre 23 °C cerca de la costa, 28 °C en ceja de selva y 4°C en la sierra; asimismo, la temporada de lluvias se extiende entre los meses de diciembre y abril con precipitación de 200 a 1 500 mm. (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2011, p. 37)

**3.2.6.1. Distribución climática.** Con la información de la ZEE realizada por el Gobierno Regional de Cajamarca, se identificaron cinco características climáticas dentro de la subcuenca del río Chotano. Para conocer la superficie y el porcentaje de cada distribución climática en la subcuenca de estudio se calcularon sus áreas respectivas, las cuales se muestran a continuación:

**Tabla 22**

*Superficie y porcentaje de la distribución climática en la subcuenca de estudio.*

Simbología	Área (Km <sup>2</sup> )			Porcentaje de la subcuenca (%)
	Provincia		Total	
	Chota	Cutervo		
<b>B (i) B'2 H3</b>	85,37	190,22	275,59	23,61
<b>B (o,i) B'3 H3</b>	221,48	0,93	222,41	19,05
<b>C (o,i,p) A' H3</b>	129,95	193,97	323,92	27,75
<b>C (o,i,p) B'2 H3</b>	228,03	13,91	241,94	20,73
<b>C (o,i,p) B'3 H3</b>	103,47	0,00	103,47	8,86
<b>Total</b>	768,30	399,03	1167,33	100,00
<b>Porcentaje de la subcuenca (%)</b>	65,82	34,18		

**Tabla 23**

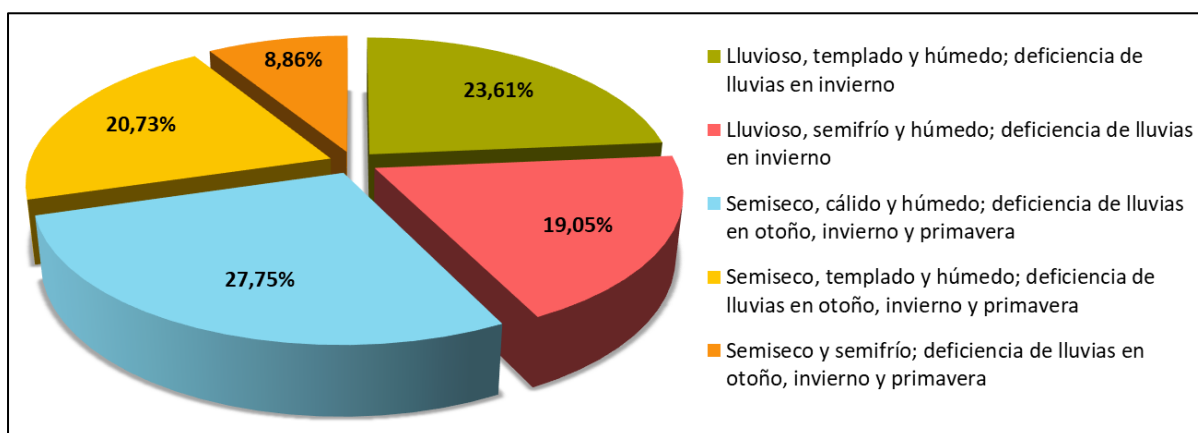
*Descripción de la simbología para cada distribución climática.*

Simbología	Descripción
<b>B (i) B'2 H3</b>	Lluvioso, templado y húmedo; deficiencia de lluvias en invierno
<b>B (o,i) B'3 H3</b>	Lluvioso, semifrío y húmedo; deficiencia de lluvias en invierno
<b>C (o,i,p) A' H3</b>	Semiseco, cálido y húmedo; deficiencia de lluvias en otoño, invierno y primavera
<b>C (o,i,p) B'2 H3</b>	Semiseco, templado y húmedo; deficiencia de lluvias en otoño, invierno y primavera
<b>C (o,i,p) B'3 H3</b>	Semiseco y semifrío; deficiencia de lluvias en otoño, invierno y primavera

Nota. Simbología tomada del *Mapa Climático del departamento de Cajamarca*, de Sánchez y Vásquez; 2010, P. 33.

**Figura 4**

*Distribución porcentual de las características climáticas.*



Nota. Se observa una distribución climática casi uniforme debido a la deficiencia de lluvias en invierno y al clima húmedo en las primeras cuatro zonas identificadas.

**Tabla 24**

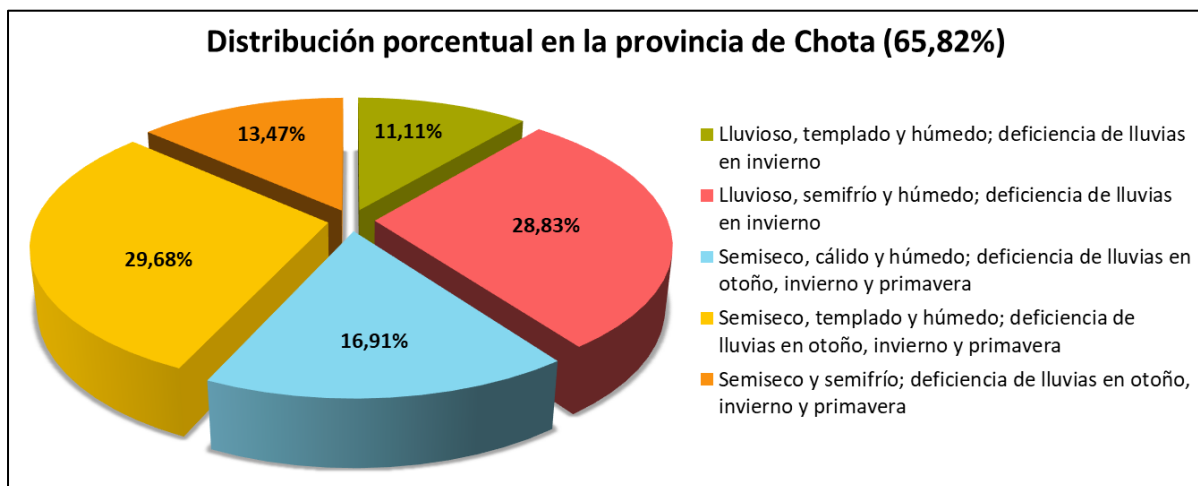
*Distribución climática en la subcuenca para la provincia de Chota.*

Simbología	Provincia de Chota						%	Porcentaje de la subcuenca (%)
	Área por distrito (Km <sup>2</sup> )					Total		
	Chota	Cochabamba	Huambos	Lajas	Quero-coto			
<b>B (i)</b> <b>B'2 H3</b>	0,76	26,02	0,00	58,59	0,00	85,37	11,11	7,32
<b>B (o,i)</b> <b>B'3 H3</b>	175,63	0,00	0,00	45,85	0,00	221,48	28,83	18,97
<b>C (o,i,p)</b> <b>A' H3</b>	0,00	58,76	40,63	0,00	30,56	129,95	16,91	11,13
<b>C (o,i,p)</b> <b>B'2 H3</b>	0,00	34,22	107,89	0,00	85,92	228,03	29,68	19,54
<b>C (o,i,p)</b> <b>B'3 H3</b>	91,31	0,00	0,00	12,16	0,00	103,47	13,47	8,86
<b>Total</b>	267,70	119,00	148,52	116,60	116,48	768,30	100,00	65,82

Nota. La descripción de la simbología para cada distribución climática se detalla en la *Tabla 23*.

**Figura 5**

*Distribución porcentual de las condiciones climáticas para la provincia de Chota que abarca la subcuenca de estudio.*



Nota. En la provincia de Chota que abarca la subcuenca de estudio, se observa una distribución de las condiciones climáticas casi uniforme debido al clima húmedo con deficiencia de lluvias en invierno.

**Tabla 25**

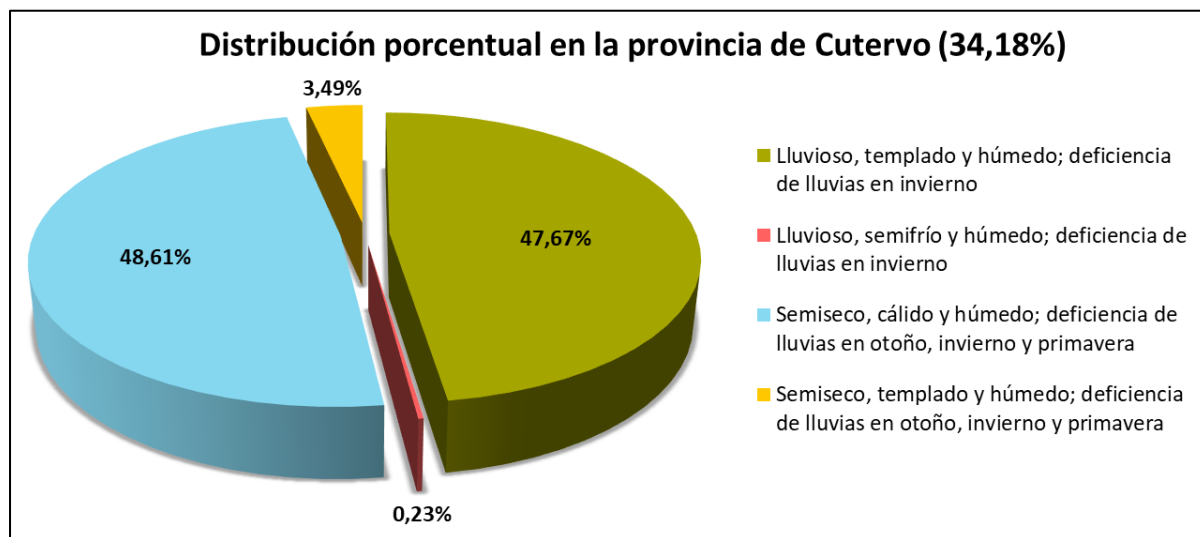
*Distribución climática en la subcuenca para la provincia de Cutervo.*

Simbología	Provincia de Cutervo			%	Porcentaje de la subcuenca (%)
	Área por distrito (Km <sup>2</sup> )				
	Cutervo	Querocotillo	Total		
<b>B (i) B'2 H3</b>	159,26	30,96	190,22	47,67	16,29
<b>B (o,i) B'3 H3</b>	0,93	0,00	0,93	0,23	0,08
<b>C (o,i,p) A' H3</b>	105,90	88,07	193,97	48,61	16,62
<b>C (o,i,p) B'2 H3</b>	0,00	13,91	13,91	3,49	1,19
<b>Total</b>	266,09	132,94	399,03	100,00	34,18

Nota. La descripción de la simbología para cada distribución climática se detalla en la *Tabla 23*.

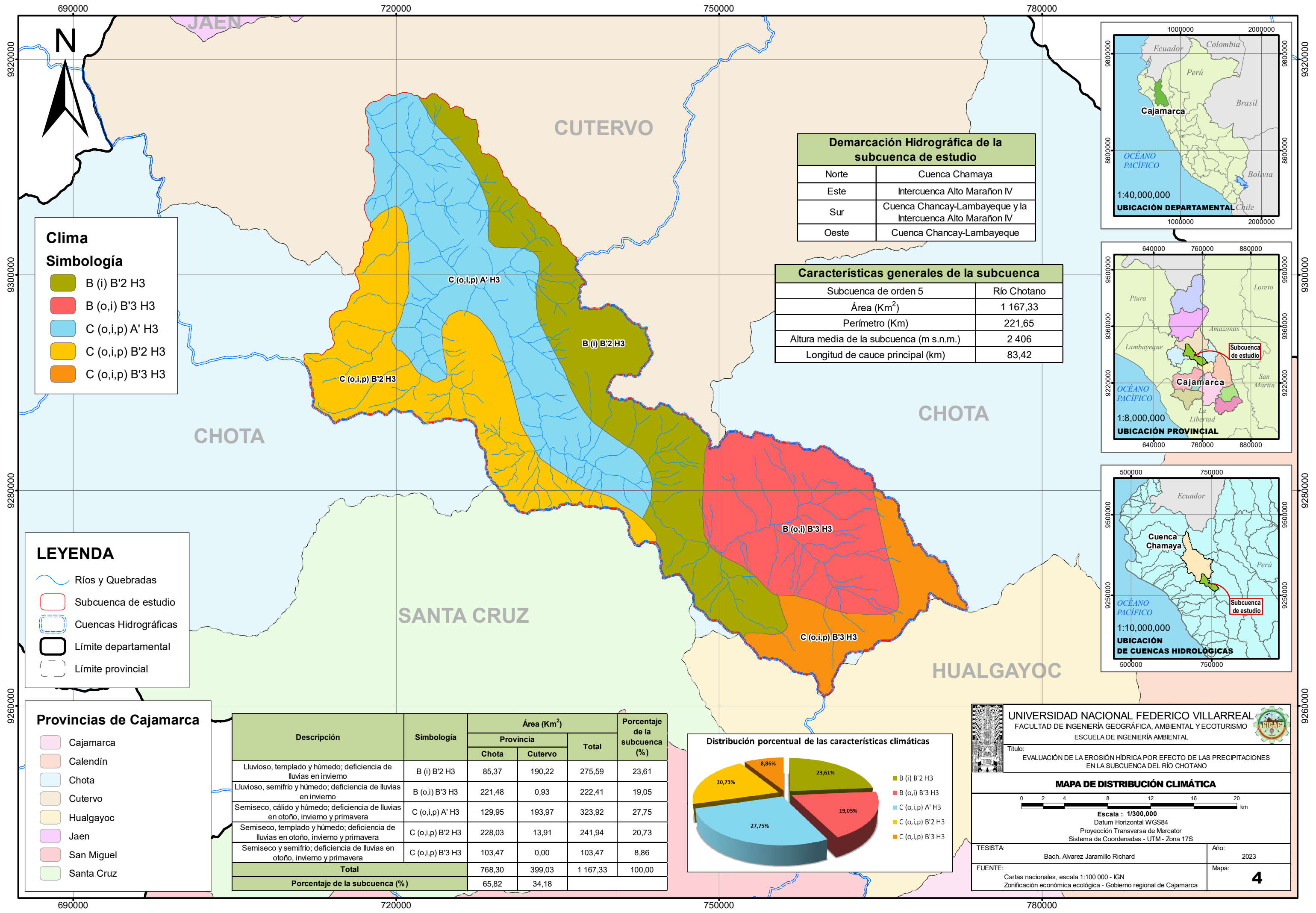
**Figura 6**

*Distribución porcentual de las condiciones climáticas para la provincia de Cutervo que abarca la subcuenca de estudio.*



Nota. En la provincia de Cutervo que abarca la subcuenca de estudio, predominan las condiciones lluviosas y húmedas, con deficiencia de lluvias en invierno.





**Clima Simbología**

<span style="color: green;">■</span>	B (i) B'2 H3
<span style="color: red;">■</span>	B (o,i) B'3 H3
<span style="color: lightblue;">■</span>	C (o,i,p) A' H3
<span style="color: yellow;">■</span>	C (o,i,p) B'2 H3
<span style="color: orange;">■</span>	C (o,i,p) B'3 H3

**LEYENDA**

	Ríos y Quebradas
	Subcuenca de estudio
	Cuencas Hidrográficas
	Límite departamental
	Límite provincial

**Provincias de Cajamarca**

<span style="color: pink;">■</span>	Cajamarca
<span style="color: lightorange;">■</span>	Calendín
<span style="color: lightblue;">■</span>	Chota
<span style="color: lightyellow;">■</span>	Cutervo
<span style="color: yellow;">■</span>	Hualgayoc
<span style="color: lightpurple;">■</span>	Jaen
<span style="color: lightred;">■</span>	San Miguel
<span style="color: lightgreen;">■</span>	Santa Cruz

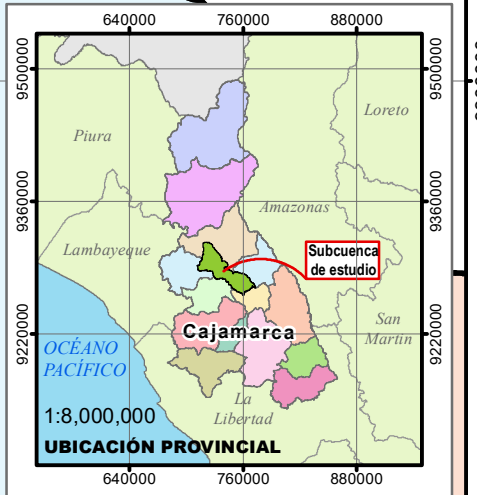
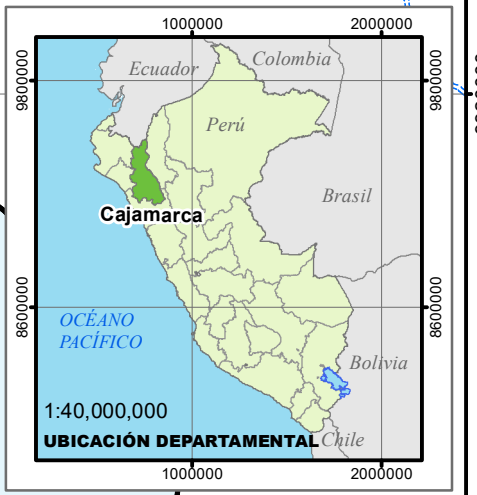
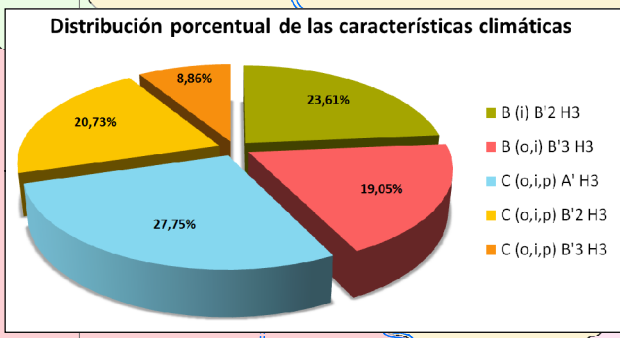
Descripción	Simbología	Área (Km <sup>2</sup> )			Porcentaje de la subcuenca (%)
		Chota	Cutervo	Total	
Lluvioso, templado y húmedo; deficiencia de lluvias en invierno	B (i) B'2 H3	85,37	190,22	275,59	23,61
Lluvioso, semifrío y húmedo; deficiencia de lluvias en invierno	B (o,i) B'3 H3	221,48	0,93	222,41	19,05
Semiseco, cálido y húmedo; deficiencia de lluvias en otoño, invierno y primavera	C (o,i,p) A' H3	129,95	193,97	323,92	27,75
Semiseco, templado y húmedo; deficiencia de lluvias en otoño, invierno y primavera	C (o,i,p) B'2 H3	228,03	13,91	241,94	20,73
Semiseco y semifrío; deficiencia de lluvias en otoño, invierno y primavera	C (o,i,p) B'3 H3	103,47	0,00	103,47	8,86
<b>Total</b>		<b>768,30</b>	<b>399,03</b>	<b>1 167,33</b>	<b>100,00</b>
<b>Porcentaje de la subcuenca (%)</b>		<b>65,82</b>	<b>34,18</b>		

**Demarcación Hidrográfica de la subcuenca de estudio**

Norte	Cuenca Chamaya
Este	Intercuenca Alto Marañón IV
Sur	Cuenca Chancay-Lambayeque y la Intercuenca Alto Marañón IV
Oeste	Cuenca Chancay-Lambayeque

**Características generales de la subcuenca**

Subcuenca de orden 5	Río Chotano
Área (Km <sup>2</sup> )	1 167,33
Perímetro (Km)	221,65
Altura media de la subcuenca (m s.n.m.)	2 406
Longitud de cauce principal (km)	83,42



**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Título: **EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR EFECTO DE LAS PRECIPITACIONES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHOTANO**

**MAPA DE DISTRIBUCIÓN CLIMÁTICA**

Escala : 1/300,000  
 Datum Horizontal WGS84  
 Proyección Transversa de Mercator  
 Sistema de Coordenadas - UTM - Zona 17S

TESISTA: Bach. Álvarez Jaramillo Richard      Año: 2023

FUENTE: Cartas nacionales, escala 1:100 000 - IGN  
 Zonificación económica ecológica - Gobierno regional de Cajamarca      Mapa: **4**

### 3.2.7. Zonas de vida

Este concepto partió del hecho de que los estudios sobre la evolución demuestran que el desarrollo de las complejas comunidades actuales toman un período largo de tiempo, y que estas partieron de los elementos químicos básicos existentes en la atmósfera, así como de la capa del suelo derivada de la descomposición de la roca. (Sánchez, 2011, p. 6)

**3.2.7.1. Distribución de las Zonas de Vida.** Con la información de la ZEE realizada por el Gobierno Regional de Cajamarca, se identificaron cinco zonas de vida dentro de la subcuenca del río Chotano. Para conocer la superficie y el porcentaje de cada distribución en la subcuenca, se calcularon sus áreas respectivas, las cuales se muestran a continuación:

**Tabla 26**

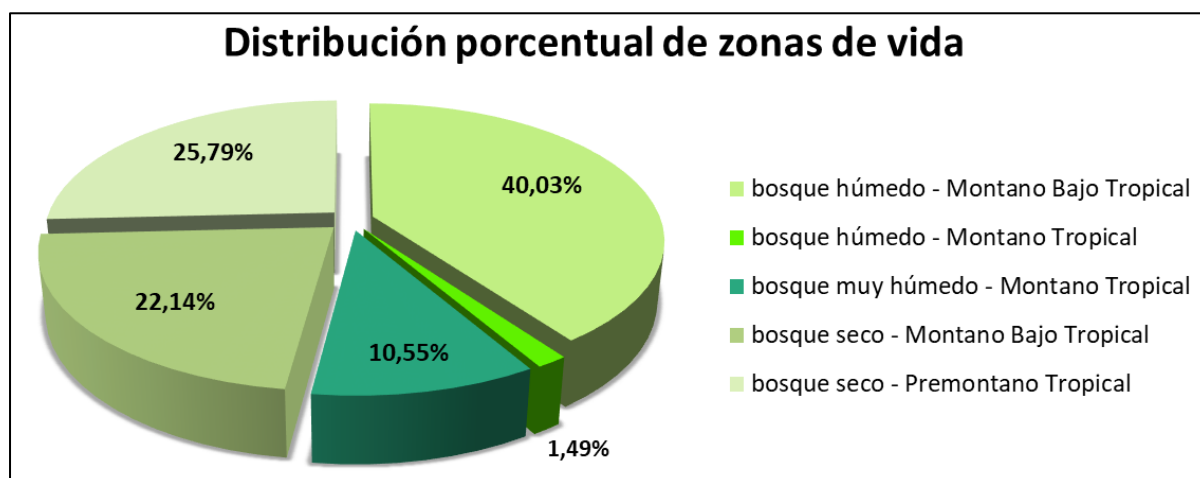
*Superficie y porcentaje de la distribución de zonas de vida en la subcuenca.*

Simbología	Descripción	Área (Km <sup>2</sup> )			Porcentaje de la subcuenca (%)
		Provincia		Total	
		Chota	Cutervo		
<b>bh - MBT</b>	bosque húmedo - Montano Bajo Tropical	321,08	146,17	467,26	40,03
<b>bh - MT</b>	bosque húmedo - Montano Tropical	17,46	0,00	17,46	1,49
<b>bmh - MT</b>	bosque muy húmedo - Montano Tropical	111,55	11,59	123,13	10,55
<b>bs - MBT</b>	bosque seco Montano - Bajo Tropical	206,25	52,19	258,44	22,14
<b>bs - PT</b>	bosque seco - Premontano Tropical	111,96	189,08	301,04	25,79
<b>Total</b>		768,30	399,03	1 167,33	100,00
<b>Porcentaje de la subcuenca (%)</b>		65,82	34,18		

Nota. Simbología tomada de las *Zonas de vida de Cajamarca*, de Sánchez; 2011, P. 4. La zona de vida del bosque húmedo - Montano Bajo Tropical (bh - MBT) cubre la mayor extensión de la superficie con 467,26 km<sup>2</sup> que representa el 40,03% de la subcuenca de estudio, mientras que el bosque húmedo - Montano Tropical (bh - MT) cubre solo un área de 17,46 km<sup>2</sup>, siendo la que tiene menor distribución con el 1,49%.

**Figura 7**

*Distribución porcentual de zonas de vida en la subcuenca de estudio.*



Seguidamente, se describen las zonas de vida que se identificaron en la subcuenca de estudio:

***Bosque húmedo - Montano Bajo Tropical (bh - MBT).*** Ubicado en la región andina, presenta altitudes en la subcuenca del río Chotano que van desde los 2 100 y 3 500 m s.n.m., sobre una superficie de 467,26 km<sup>2</sup> (40,03% del área total), siendo la zona de vida con mayor distribución en los distritos de las dos provincias que comprende la subcuenca de estudio.

La cobertura vegetal de estas zonas de vida se caracteriza por la presencia de matorrales y especies arbustivas de carácter perennifolio; asimismo, son aptas para la práctica de la agricultura, tanto en secano como en aquellas modificadas por el hombre.

***Bosque húmedo - Montano Tropical (bh - MT).*** Ubicado en la región andina, presenta altitudes en la subcuenca del río Chotano que van entre los 2 700 y 3 600 m s.n.m., sobre una superficie de 17,46 km<sup>2</sup>, siendo el 1,49% del área total de la subcuenca de estudio, que está distribuida en los distritos de Huambos y Querocoto, de la provincia de Chota.

La cobertura vegetal de estas zonas de vida se caracteriza por la presencia de bosques naturales y matorrales conformados por especies arbustivas de carácter perennifolio;

asimismo, son aptas para la práctica de la agricultura, tanto en secano como en aquellas modificadas por el hombre. Las áreas con pendientes empinadas presentan mejores condiciones para la producción forestal con fines de producción maderable.

***Bosque muy húmedo - Montano Tropical (bmh - MT).*** Distribuidos en la región de la sierra, presentan altitudes en la subcuenca del río Chotano que van entre los 2 600 y 3 800 m s.n.m., abarca una superficie de 123,13 km<sup>2</sup> siendo el 10,55% del área total de la subcuenca de estudio, que está distribuida en los distritos de Chota y Lajas, de la provincia de Chota, y en el distrito de Cutervo para la provincia del mismo nombre.

La cobertura vegetal de esta zona de vida se caracteriza por la presencia de bosques, pastos naturales y matorrales que a su vez están conformados por especies arbustivas de carácter perennifolio; asimismo, en esta zona de vida se práctica la agricultura.

***Bosque seco - Montano Bajo Tropical (bs - MBT).*** Se distribuye en la región andina, presenta altitudes en la subcuenca del río Chotano que van entre los 1 800 y 3 000 m s.n.m., abarca una superficie de 258,44 km<sup>2</sup> (22,14% del área total), distribuida en los distritos de las dos provincias que comprende la subcuenca de estudio perteneciente al río Chotano.

Sánchez (2011), señala que, esta zona de vida en Cajamarca posee un clima subhúmedo-templado cálido, con temperatura media entre 17 °C y 12 °C; y precipitación pluvial total promedio anual entre 500 y 650 mm. (p. 14)

La vegetación es más abundante en esta zona de vida, tanto cualitativa como cuantitativamente; sin embargo, en algunos lugares la vegetación original primaria ha sido completamente destruida por el sobrepastoreo y recolectado como matorral energético. Debido a que la actividad agrícola se desarrolla en los lugares donde hay disponibilidad de agua para regar, siendo factible también la agricultura de secano en años relativamente lluviosos. (Sánchez, 2011, p. 14)

**Bosque seco - Premontano Tropical (bs - PT).** Se distribuye en la región andina, presenta altitudes en la subcuenca del río Chotano que va entre los 1 100 y 2 800 m s.n.m., comprende una superficie de 301,04 km<sup>2</sup>, siendo el 25,79% del área total de la subcuenca de estudio, distribuida en los distritos de Cochabamba, Huambos y Lajas, de la provincia de Chota, y en los distritos de Cutervo y Querocotillo, de la provincia de Cutervo.

Sánchez (2011), señala que, esta zona de vida en Cajamarca posee un clima subhúmedo semicálido, con temperatura media entre 19 °C y 17 °C; y precipitación pluvial entre 600 y 800 mm. La cobertura vegetal es típica de sabana compuesto por árboles de porte bajo, arbustos y un manto de vegetación graminal estacional. En las tierras que disponen agua para riego permanente se siembra una gran variedad de cultivos, tales como: maíz, papa, hortalizas, caña de azúcar para producir chancaca y aguardiente. Al comienzo de la época de lluvias también se siembra maíz y frijol. Gran parte del resto de la sabana es utilizada para el pastoreo de ganado vacuno y caprino que con una fuerte carga animal generan el sobre pastoreo que viene degradando severamente la vegetación natural y los suelos. (p. 15)

**Tabla 27**

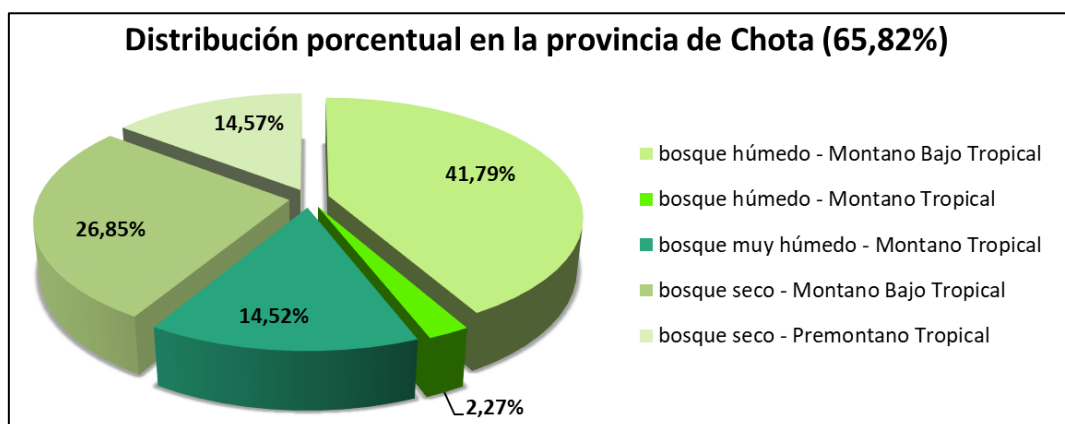
*Distribución de zonas de vida en la subcuenca para la provincia de Chota.*

Simbología	Provincia de Chota						%	Porcentaje de la subcuenca (%)
	Área por distrito (Km <sup>2</sup> )					Total		
	Chota	Cochabamba	Huambos	Lajas	Querocoto			
<b>bh - MBT</b>	170,45	23,38	46,95	50,35	29,95	321,08	41,79	27,51
<b>bh - MT</b>	0,00	0,00	1,83	0,00	15,63	17,46	2,27	1,49
<b>bmh - MT</b>	92,01	0,00	0,00	19,54	0,00	111,55	14,52	9,56
<b>bs - MBT</b>	5,24	53,54	67,38	42,62	37,47	206,25	26,85	17,67
<b>bs - PT</b>	0,00	42,08	32,36	4,09	33,43	111,96	14,57	9,59
<b>Total</b>	267,70	119,00	148,52	116,60	116,48	768,30	100,00	65,82

Nota. La descripción de la simbología para cada zona de vida se detalla en la *Tabla 26*.

**Figura 8**

*Distribución porcentual de las zonas de vida para la provincia de Chota.*

**Tabla 28**

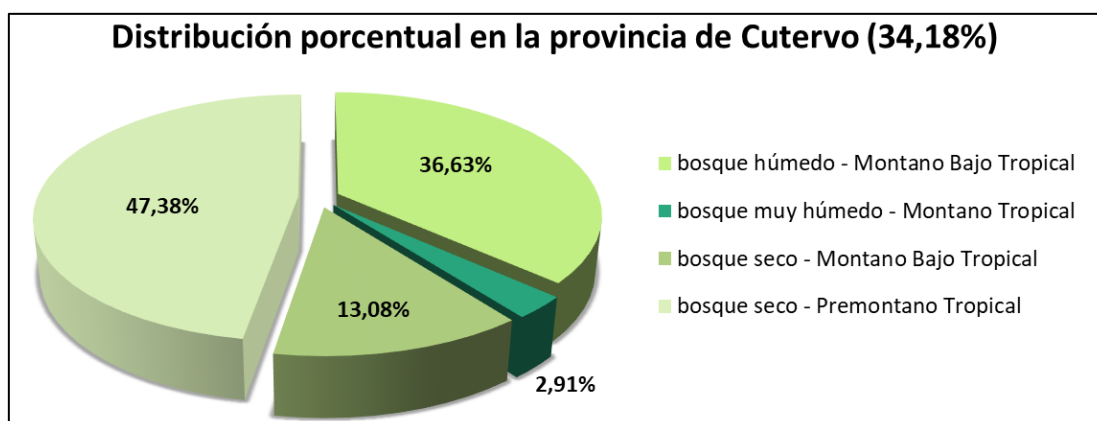
*Distribución de zonas de vida en la subcuenca para la provincia de Cutervo.*

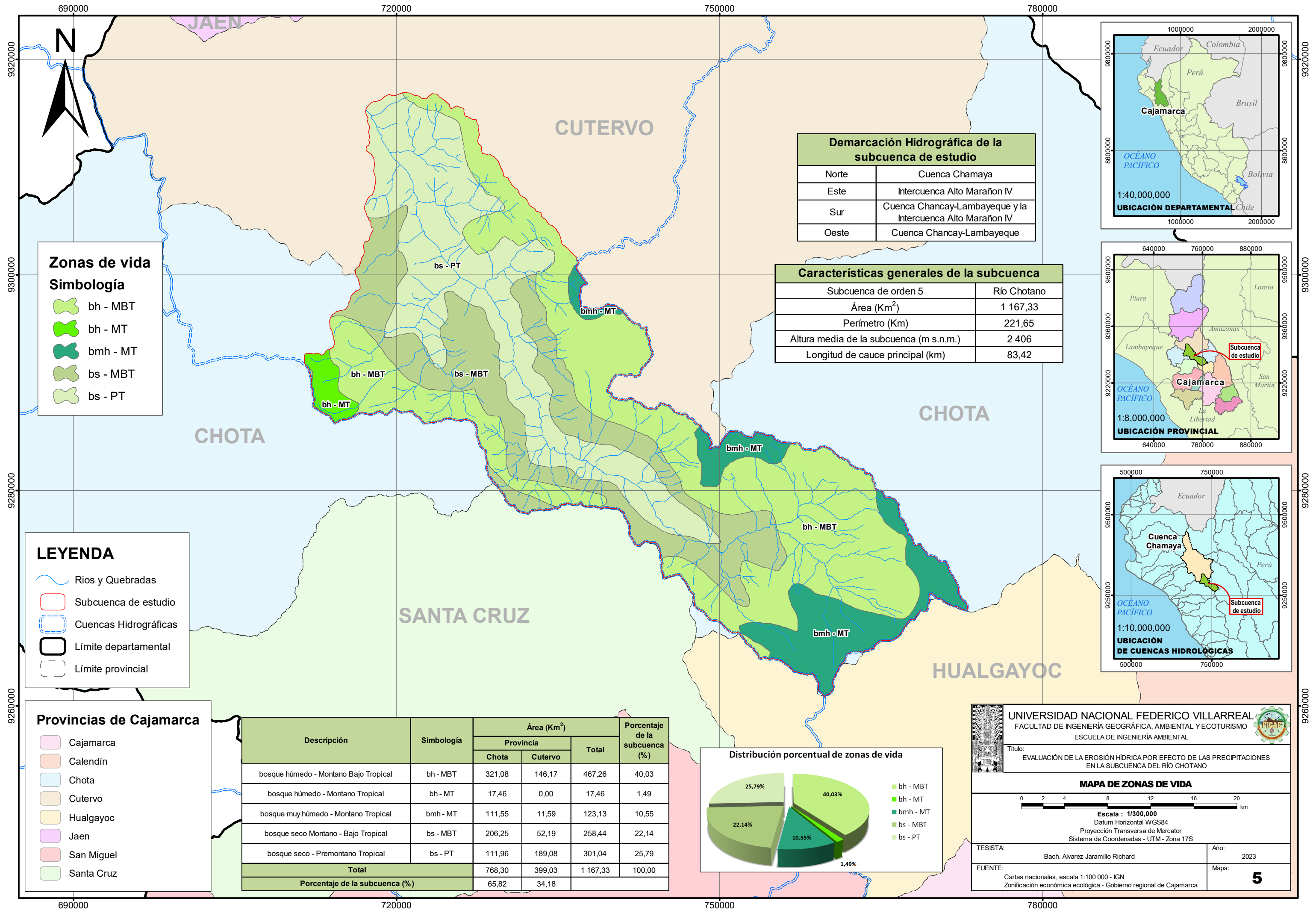
Simbología	Provincia de Cutervo			%	Porcentaje de la subcuenca (%)
	Área por distrito (Km <sup>2</sup> )				
	Cutervo	Querocotillo	Total		
<b>bh - MBT</b>	120,54	25,63	146,17	36,63	12,52
<b>bmh - MT</b>	11,59	0,00	11,59	2,91	0,99
<b>bs - MBT</b>	39,89	12,30	52,19	13,08	4,47
<b>bs - PT</b>	94,07	95,01	189,08	47,38	16,20
<b>Total</b>	266,09	132,94	399,03	100,00	34,18

Nota. La descripción de la simbología para cada zona de vida se detalla en la *Tabla 26*.

**Figura 9**

*Distribución porcentual de las zonas de vida para la provincia de Cutervo.*





**Zonas de vida**  
**Simbología**

- bh - MBT
- bh - MT
- bmh - MT
- bs - MBT
- bs - PT

**LEYENDA**

- ~ Rios y Quebradas
- Subcuenca de estudio
- Cuencas Hidrográficas
- Límite departamental
- Límite provincial

**Provincias de Cajamarca**

- Cajamarca
- Calendín
- Chota
- Cutervo
- Hualgayoc
- Jaen
- San Miguel
- Santa Cruz

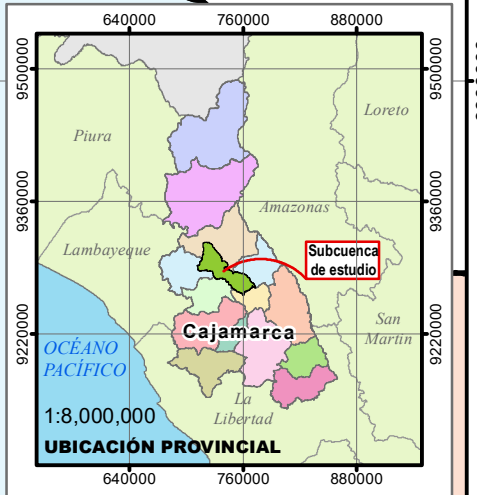
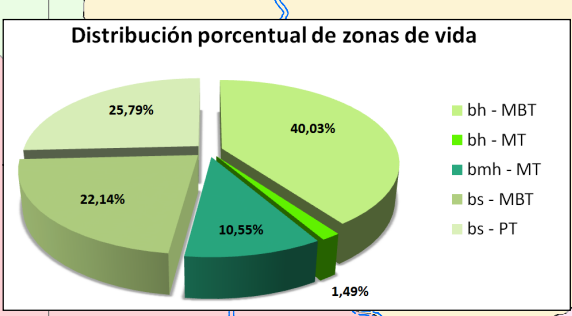
Descripción	Simbología	Área (Km <sup>2</sup> )		Total	Porcentaje de la subcuenca (%)
		Provincia			
		Chota	Cutervo		
bosque húmedo - Montano Bajo Tropical	bh - MBT	321,08	146,17	467,26	40,03
bosque húmedo - Montano Tropical	bh - MT	17,46	0,00	17,46	1,49
bosque muy húmedo - Montano Tropical	bmh - MT	111,55	11,59	123,13	10,55
bosque seco Montano - Bajo Tropical	bs - MBT	206,25	52,19	258,44	22,14
bosque seco - Premontano Tropical	bs - PT	111,96	189,08	301,04	25,79
<b>Total</b>		<b>768,30</b>	<b>399,03</b>	<b>1 167,33</b>	<b>100,00</b>
<b>Porcentaje de la subcuenca (%)</b>		<b>65,82</b>	<b>34,18</b>		

**Demarcación Hidrográfica de la subcuenca de estudio**

Norte	Cuenca Chamaya
Este	Intercuenca Alto Marañón IV
Sur	Cuenca Chancay-Lambayeque y la Intercuenca Alto Marañón IV
Oeste	Cuenca Chancay-Lambayeque

**Características generales de la subcuenca**

Subcuenca de orden 5	Río Chotano
Área (Km <sup>2</sup> )	1 167,33
Perímetro (Km)	221,65
Altura media de la subcuenca (m s.n.m.)	2 406
Longitud de cauce principal (km)	83,42



**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Título: EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR EFECTO DE LAS PRECIPITACIONES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHOTANO

**MAPA DE ZONAS DE VIDA**

Escala : 1/300,000  
Datum Horizontal WGS84  
Proyección Transversa de Mercator  
Sistema de Coordenadas - UTM - Zona 17S

TESISTA: Bach. Alvarez Jaramillo Richard      Año: 2023

FUENTE: Cartas nacionales, escala 1:100 000 - IGN  
Zonificación económica ecológica - Gobierno regional de Cajamarca      Mapa: **5**



### 3.2.8. Cobertura Vegetal

Con la información obtenida de la ZEE del Gobierno Regional de Cajamarca, se identificaron seis unidades puras y siete asociaciones que reflejan la vegetación existente dentro de la subcuenca de estudio perteneciente al río Chotano. Para conocer la superficie y el porcentaje que cubre cada distribución en la subcuenca, se calcularon sus áreas respectivas, las cuales se muestran a continuación:

**Tabla 29**

*Superficie y porcentaje de la distribución de cobertura vegetal en la subcuenca.*

Simbología	Área (Km <sup>2</sup> )			Porcentaje de la subcuenca (%)	
	Provincia		Total		
	Chota	Cutervo			
Unidades Puras	BN	31,21	0,00	31,21	2,67
	BS	0,14	17,34	17,48	1,50
	CA	28,86	16,51	45,37	3,89
	M	138,00	157,85	295,85	25,34
	VA	3,37	65,55	68,92	5,91
	VE	46,01	1,97	47,98	4,11
	<b>Subtotal</b>	<b>247,59</b>	<b>259,22</b>	<b>506,81</b>	<b>43,42</b>
Asociaciones	BN - VA	27,49	0,05	27,54	2,36
	CA - PC	2,35	0,00	2,35	0,20
	CA - PN	36,22	0,00	36,22	3,10
	CA - VA	121,77	19,52	141,29	12,10
	VE - CA	167,40	32,69	200,09	17,14
	VE - PN	5,36	0,00	5,36	0,46
	VE - VA	160,12	87,55	247,67	21,22
<b>Subtotal</b>	<b>520,71</b>	<b>139,81</b>	<b>660,52</b>	<b>56,58</b>	
<b>Total</b>	<b>768,30</b>	<b>399,03</b>	<b>1 167,33</b>	<b>100,00</b>	
<b>Porcentaje de la subcuenca (%)</b>	<b>65,82</b>	<b>34,18</b>			

Nota. Las unidades puras cubren una superficie de 506,81 km<sup>2</sup> equivalente al 43,42% de la subcuenca de estudio y las asociaciones cubren un 660,52 km<sup>2</sup> siendo el 56,58% restante. La descripción de la simbología para cada cobertura vegetal se detalla en la *Tabla 30*.



**Tabla 30**

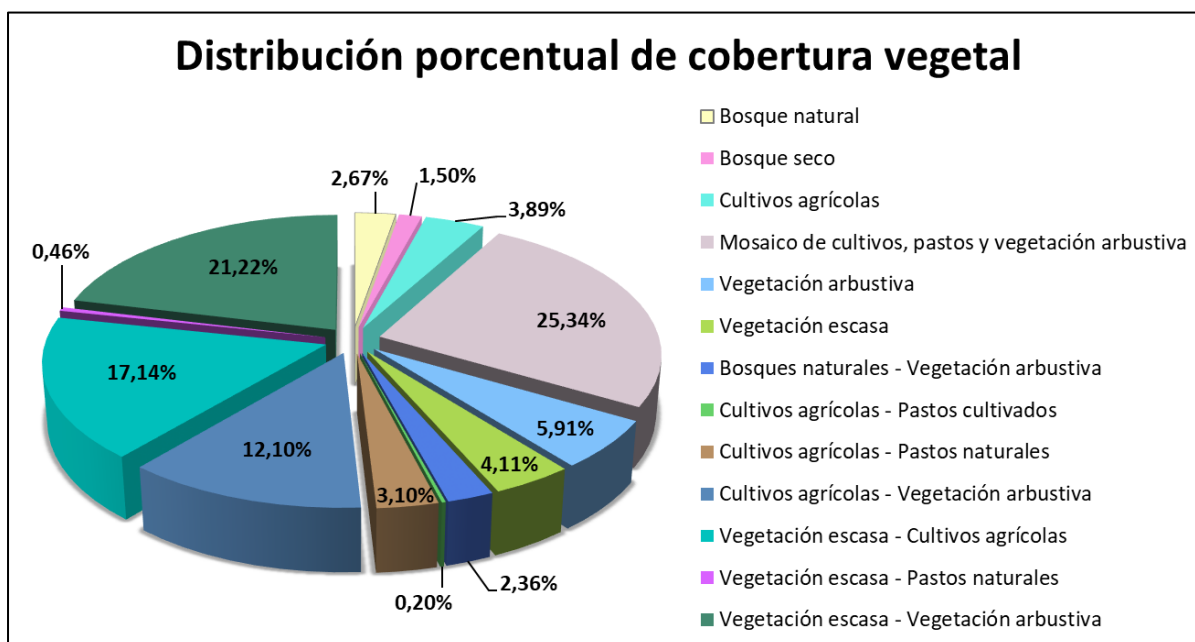
*Descripción de la simbología para cada cobertura vegetal.*

<b>Simbología</b>	<b>Descripción</b>
BN	Bosque natural
BS	Bosque seco
CA	Cultivos agrícolas
M	Mosaico de cultivos, pastos y vegetación arbustiva
VA	Vegetación arbustiva
VE	Vegetación escasa
BN - VA	Bosques naturales - Vegetación arbustiva
CA - PC	Cultivos agrícolas - Pastos cultivados
CA - PN	Cultivos agrícolas - Pastos naturales
CA - VA	Cultivos agrícolas - Vegetación arbustiva
VE - CA	Vegetación escasa - Cultivos agrícolas
VE - PN	Vegetación escasa - Pastos naturales
VE - VA	Vegetación escasa - Vegetación arbustiva

Nota. Simbología tomada de la *Cobertura vegetal y uso actual del departamento de Cajamarca*, de Alcántara; 2012, p.13

**Figura 10**

*Distribución porcentual de cobertura vegetal en la subcuenca de estudio.*



Nota. La cobertura vegetal que ocupa una mayor extensión es el mosaico de cultivos, pastos y vegetación arbustiva (descrita como unidad pura en la zonificación ecológica económica del Gobierno Regional de Cajamarca), con una superficie de 295,85 km<sup>2</sup> equivalente al 25,34% del área total de la subcuenca de estudio perteneciente al río Chotano.

**3.2.8.1. Descripción de las unidades puras de cobertura vegetal.** A continuación, se detalla los tipos de unidades puras identificadas en la subcuenca de estudio del río Chotano, así como el porcentaje y la superficie que abarca cada unidad de esta categoría; al respecto, todas las unidades puras abarcan una extensión de 506,81 km<sup>2</sup> siendo el 43,42% de la superficie total.

**Tabla 31**

*Distribución de cobertura vegetal en la subcuenca de estudio - Unidades puras.*

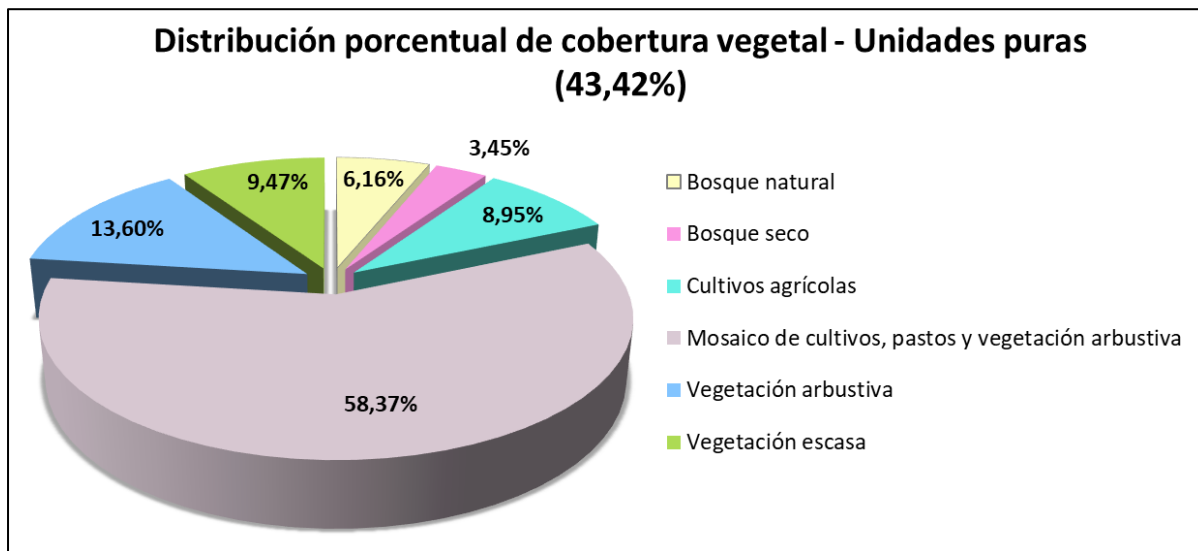
Simbología	Área (Km <sup>2</sup> )			Unidades Puras (%)	Porcentaje de la subcuenca (%)
	Provincia		Total		
	Chota	Cutervo			
<b>BN</b>	31,21	0,00	31,21	6,16	2,67
<b>BS</b>	0,14	17,34	17,48	3,45	1,50
<b>CA</b>	28,86	16,51	45,37	8,95	3,89
<b>M</b>	138,00	157,85	295,85	58,37	25,34
<b>VA</b>	3,37	65,55	68,92	13,60	5,91
<b>VE</b>	46,01	1,97	47,98	9,47	4,11
<b>Total</b>	247,59	259,22	506,81	100,00	43,42
<b>Porcentaje de la subcuenca (%)</b>	21,21	22,21			

Nota. De las seis unidades puras; el mosaico de cultivos, pastos y vegetación arbustiva (M) cubre una mayor extensión de 295,85 km<sup>2</sup> siendo el 58,37% de las unidades puras y el 25,34% a nivel de la subcuenca de estudio; mientras que el bosque seco (BS) cubre solamente un área de 17,48 km<sup>2</sup> que representa el 1,50% del área total, por lo cual, es la que tiene menor

distribución en la superficie de la subcuenca perteneciente al río Chotano. La descripción de la simbología para cada cobertura vegetal se detalla en la *Tabla 30*.

### Figura 11

*Distribución porcentual de cobertura vegetal en la subcuenca - Unidades puras.*



Seguidamente, se describen los tipos de unidades puras de cobertura vegetal identificados en la subcuenca del río Chotano:

***Bosque natural (BN)***. Alcántara (2012), señala que, están conformados árboles y arbustos que brindan una cobertura bastante densa a estos lugares; en su interior albergan una importante biodiversidad de fauna silvestre y flora de un alto valor bioecológico. (p. 18)

En estas áreas durante casi todo el año se observa la presencia de una neblina espesa que proporciona humedad permanente al bosque el cual garantiza el equilibrio natural de este ecosistema. (Alcántara, 2012, p. 19)

Estos bosques naturales se encuentran ocupando paisajes de laderas y colinas de diferentes cerros. En estas zonas, existen aún relictos de especies nativas de alto valor biológico y económico, como el saucecillo, romerillo, guayacán, entre otros que por razones

vivenciales de la población aledaña vienen exterminándolos, sin que nadie tome importancia de estos sucesos. (Alcántara, 2012, p. 19)

Esta unidad de bosque natural representa solo el 6,16% de las unidades puras y abarca una superficie de 31,21 km<sup>2</sup> siendo el 2,67% del área total de la subcuenca de estudio del río Chotano, que está distribuida en los distritos de Huambos y Querocoto de la provincia de Chota.

***Bosque seco (BS).*** Constituidos por árboles y arbustos ligeramente defoliados en la mayor parte del año para tornarse verdes durante el periodo de lluvias; el clima dominante es seco, abrigado y con bajos niveles de precipitación. (Alcántara, 2012, p. 20)

Esta unidad representa solo el 3,45% de las unidades puras y abarca una superficie de 17,48 km<sup>2</sup> siendo el 1,50% del área total de la subcuenca de estudio, que está distribuida en los distritos de Huambos y Querocoto, de la provincia de Chota, y en los distritos de Cutervo y Querocotillo, de la provincia de Cutervo.

***Cultivos agrícolas (CA).*** Alcántara (2012), señala que, estas unidades presentan suelos más desarrollados con características favorables para la instalación de cultivos; asimismo, la mayor parte de estos son conducidos al secano y una menor extensión de estos terrenos tienen riego a través de canales que nacen en los principales ríos. Ocupan zonas bajas con suelos aluviales en los márgenes de los principales ríos de toda la región, así como las laderas medias y altas inclusive en parte de la jalca. (p. 20)

Las zonas bajas presentan cultivos de arroz; trigo y cebada, ocupando las laderas al secano con una cosecha por año; asimismo, la papa y el maíz ocupan los mejores suelos que están bajo riego, para los cuales se emplea el fertilizante químico y/o abono orgánico; también ocupan una menor extensión los cultivos de ocas, ollucos, avena y centeno que generalmente están cubriendo suelos marginales. (Alcántara, 2012, p. 20-21)

Esta unidad representa solo el 8,95% de las unidades puras y abarca una superficie de 45,37 km<sup>2</sup> siendo el 3,89% del área total de la subcuenca de estudio, que está distribuida en los distritos de Huambos y Querocoto de la provincia de Chota, y en el distrito de Querocotillo de la provincia de Cutervo.

*Mosaico de cultivos, pastos y vegetación arbustiva (M)*. Alcántara (2012), señala que, esta unidad de mosaico se genera debido a que los cultivos agrícolas por razones de parcelación de la propiedad, pérdida de la capacidad productiva de los suelos y la variabilidad de estos, sumado a la falta de agua de riego y la fisiografía heterogénea de la zona, se encuentran asociados a pastos y a vegetación arbustiva. Estas unidades se encuentran en suelos moderadamente desarrollados con características favorables para la instalación de cultivos propios de la zona, pero en su mayoría conducidas al secano. (p. 21)

Los cultivos dominantes en estos mosaicos son el trigo, la cebada y en menor extensión el maíz, la papa, el centeno, oca y ollucos, los cuales son utilizados para autoconsumo. En estas unidades acompañan a los cultivos los pastos naturales en mal estado de desarrollo, donde predominan las gramíneas, la mayor parte de las cuales son especies palatables para el ganado. De igual manera en estos mosaicos se tiene vegetación arbustiva que progresivamente se viene deforestando para ampliar la frontera agrícola, así como para ser usado como leña por las familias campesinas. (Alcántara, 2012, p. 22)

Esta agrupación representa el 58,37% de las unidades puras con una superficie de 295,85 km<sup>2</sup> siendo el 25,34% del área total de estudio; por lo cual, representa la clasificación a nivel de cobertura vegetal que ocupa la mayor extensión dentro de la subcuenca perteneciente al río Chotano; distribuida en los distritos de Chota, Cochabamba y Lajas, de la provincia de Chota, y en los distritos de Cutervo y Querocotillo, de la provincia de Cutervo.

**Vegetación arbustiva (VA).** Alcántara (2012), señala que, esta categoría está formada por un estrato de vegetación arbustiva bastante densa, con una cobertura herbácea que crece abundantemente en época de lluvias; asimismo, se encuentran en un paisaje ligeramente accidentado con pendientes pronunciadas. Estas unidades se encuentran cortadas por pequeñas quebradas y cárcavas producto de la erosión severa de estos lugares. (p. 23)

La mayor parte del año estos arbustos se encuentran en mal estado de desarrollo producto de las sequías prolongadas; sin embargo, durante el periodo de lluvias la vegetación recobra su color verde intenso; asimismo, la vegetación arbustiva es utilizada por los pobladores como leña para preparar sus alimentos y en otros lugares dicha cubierta se viene deforestando para ganar espacio y para que sean incorporadas a la actividad agrícola, acelerando de esta manera el proceso erosivo de los suelos. (Alcántara, 2012, p. 24)

Esta unidad representa el 13,60% de las unidades puras y abarca una superficie de 68,92 km<sup>2</sup> siendo el 5,91% del área total de la subcuenca de estudio, que está distribuida en los distritos de Cochabamba y Huambos, de la provincia de Chota, y en los distritos de Cutervo y Querocotillo, de la provincia de Cutervo.

**Vegetación escasa (VE).** Constituida por laderas desérticas, cerros, afloramientos rocosos y terrenos desnudos con escasa vegetación, son áreas marginales para las actividades agrícolas, pecuarias y forestales, debido a las limitantes de clima y suelo. En esta unidad se observan numerosas cárcavas que forman un paisaje muy heterogéneo de laderas y cerros, con pendientes moderadamente empinadas hasta muy empinadas. (Alcántara, 2012, p. 24)

Esta unidad representa el 9,47% de las unidades puras y abarca una superficie de 47,98 km<sup>2</sup> siendo el 4,11% del área total de la subcuenca de estudio, que está distribuida en los distritos de Chota, Cochabamba, Huambos y Querocoto, de la provincia de Chota, y en el distrito de Cutervo de la provincia del mismo nombre.

**Tabla 32**

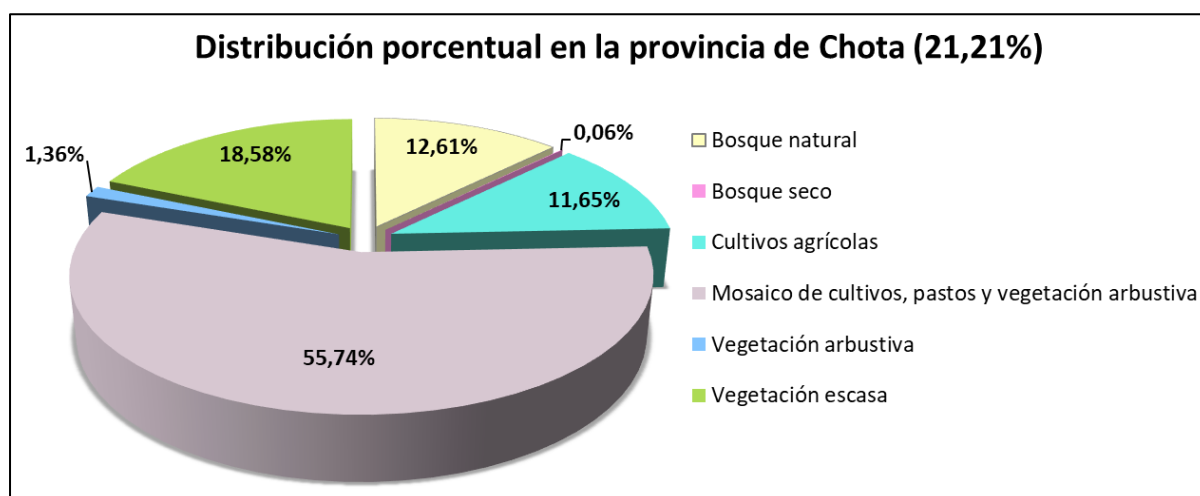
*Distribución de cobertura vegetal en la provincia de Chota - Unidades puras.*

Simbología	Provincia de Chota						%	Porcentaje de la subcuenca (%)
	Área por distrito (Km <sup>2</sup> )							
	Chota	Cochabamba	Huambos	Lajas	Quero-coto	Total		
BN	0,00	0,00	2,45	0,00	28,76	31,21	12,61	2,67
BS	0,00	0,00	0,01	0,00	0,13	0,14	0,06	0,01
CA	0,00	0,00	13,62	0,00	15,24	28,86	11,65	2,48
M	101,81	12,18	0,00	24,01	0,00	138,00	55,74	11,82
VA	0,00	2,73	0,64	0,00	0,00	3,37	1,36	0,29
VE	9,19	1,93	34,68	0,00	0,21	46,01	18,58	3,94
<b>Total</b>	<b>111,00</b>	<b>16,84</b>	<b>51,40</b>	<b>24,01</b>	<b>44,34</b>	<b>247,59</b>	<b>100,00</b>	<b>21,21</b>

Nota. La distribución de la cobertura vegetal en unidades puras para la provincia de Chota cubre una extensión de 247,59 km<sup>2</sup> equivalente al 21,21% de la subcuenca de estudio. La descripción de la simbología para cada cobertura vegetal se detalla en la *Tabla 30*.

**Figura 12**

*Distribución porcentual de la cobertura vegetal (unidades puras) que abarca la subcuenca de estudio en la provincia de Chota.*



**Tabla 33**

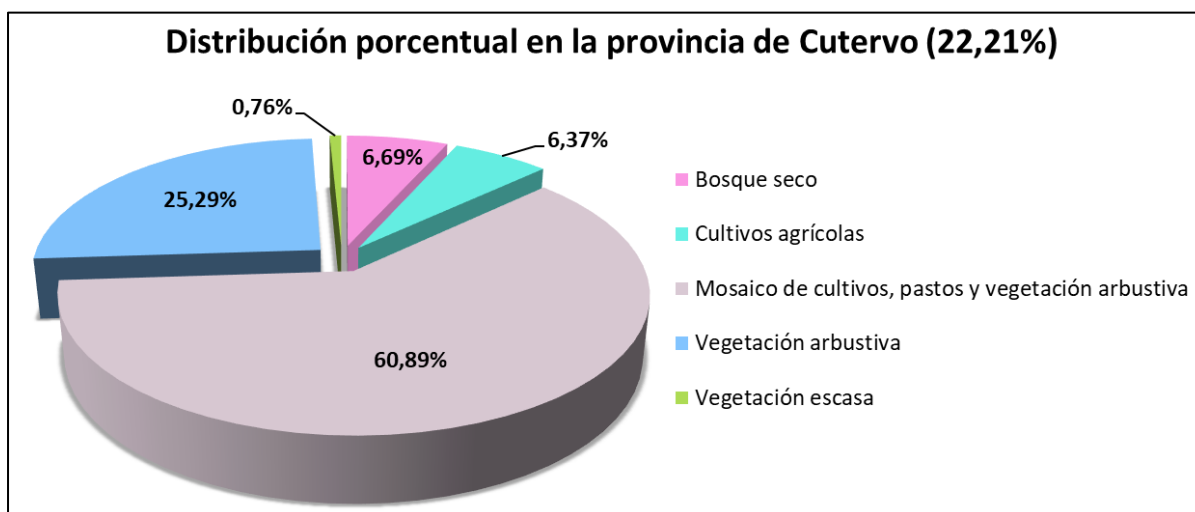
*Distribución de cobertura vegetal en la provincia de Cutervo - Unidades puras.*

Simbología	Provincia de Cutervo			%	Porcentaje de la subcuena (%)
	Área por distrito (Km <sup>2</sup> )				
	Cutervo	Querocotillo	Total		
<b>BS</b>	5,33	12,01	17,34	6,69	1,49
<b>CA</b>	0,00	16,51	16,51	6,37	1,41
<b>M</b>	109,19	48,66	157,85	60,89	13,52
<b>VA</b>	43,01	22,54	65,55	25,29	5,62
<b>VE</b>	1,97	0,00	1,97	0,76	0,17
<b>Total</b>	159,50	99,72	259,22	100,00	22,21

Nota. La distribución de la cobertura vegetal en unidades puras para la provincia de Cutervo cubre una extensión de 259,22 km<sup>2</sup> equivalente al 22,21% de la subcuena de estudio. La descripción de la simbología para cada cobertura vegetal se detalla en la *Tabla 30*.

**Figura 13**

*Distribución porcentual de la cobertura vegetal (unidades puras) que abarca la subcuena de estudio en la provincia de Cutervo.*





**3.2.8.2. Descripción de las asociaciones de cobertura vegetal.** Cubren una extensión total de 660,52 km<sup>2</sup> que equivale al 56,58% de la subcuenca de estudio. Alcántara (2012), señala que, por la heterogeneidad de la vegetación en el territorio como consecuencia de la variabilidad en el relieve y la dinámica de los factores climáticos y antrópicos, la cobertura no se encuentra formando áreas uniformes; de allí que coberturas pequeñas para no ser discriminadas por la escala macro son agrupadas formando asociaciones. (p. 25)

**Tabla 34**

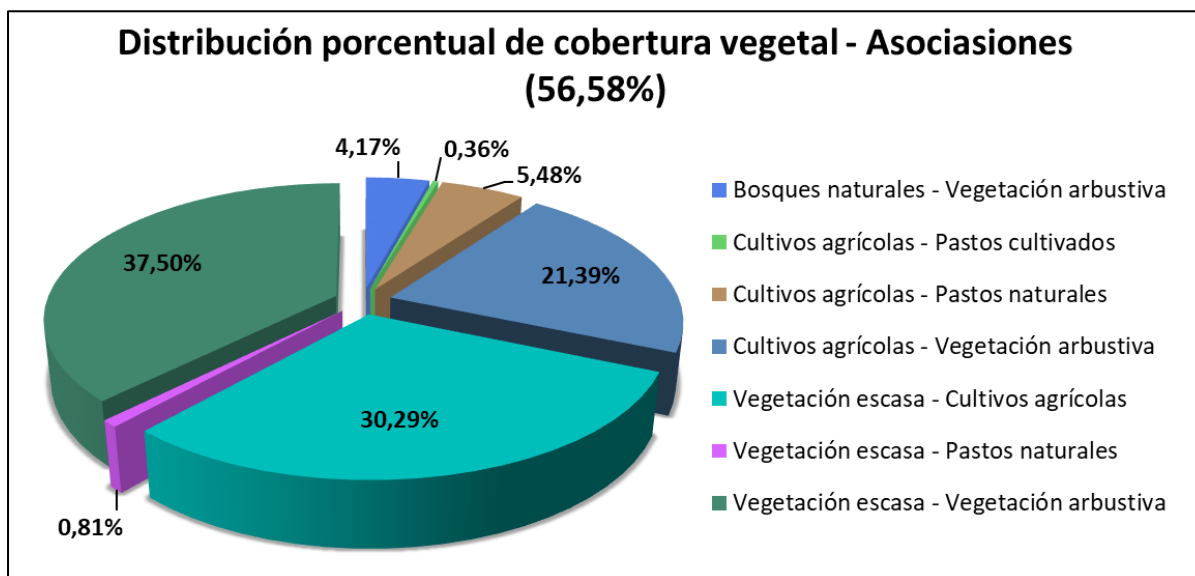
*Distribución de cobertura vegetal en la subcuenca de estudio - Asociaciones.*

Simbología	Área (Km <sup>2</sup> )			Asociaciones (%)	Porcentaje de la subcuenca (%)
	Provincia		Total		
	Chota	Cutervo			
<b>BN - VA</b>	27,49	0,05	27,54	4,17	2,36
<b>CA - PC</b>	2,35	0,00	2,35	0,36	0,20
<b>CA - PN</b>	36,22	0,00	36,22	5,48	3,10
<b>CA - VA</b>	121,77	19,52	141,29	21,39	12,10
<b>VE - CA</b>	167,40	32,69	200,09	30,29	17,14
<b>VE - PN</b>	5,36	0,00	5,36	0,81	0,46
<b>VE - VA</b>	160,12	87,55	247,67	37,50	21,22
<b>Total</b>	520,71	139,81	660,52	100,00	56,58
<b>Porcentaje de la subcuenca (%)</b>	44,61	11,97			

Nota. De las siete asociaciones de cobertura vegetal; el grupo de vegetación escasa y vegetación arbustiva (VE - VA) cubre una mayor superficie, siendo esta de 247,67 km<sup>2</sup> que es el 37,50% de las asociaciones, y el 21,22% de la subcuenca de estudio; mientras que la asociación perteneciente a los cultivos agrícolas y pastos cultivados (CA - PC) cubren solamente un área de 2,35 km<sup>2</sup>, que representa el 0,20% del área total, siendo la que tiene menor distribución en la superficie de la subcuenca perteneciente al río Chotano. La descripción de la simbología para cada cobertura vegetal se detalla en la *Tabla 30*.

**Figura 14**

*Distribución porcentual de cobertura vegetal en la subcuenca de estudio - Asociaciones.*



A continuación, se describen los tipos de asociaciones de cobertura vegetal identificados en la subcuenca del río Chotano:

***Bosques naturales y vegetación arbustiva (BN - VA).*** Es una asociación que está conformada por bosques naturales y vegetación arbustiva; asimismo, constituyen ecosistemas importantes que albergan distintas especies de flora y fauna. (Alcántara, 2012, p. 26)

Esta agrupación representa el 4,17% de las asociaciones de cobertura vegetal y abarca una superficie de 27,54 km<sup>2</sup> siendo el 2,36% del área total de la subcuenca de estudio, que está distribuida en los distritos de Chota, Huambos y Querocoto, de la provincia de Chota, y en menor proporción, en el distrito de Cutervo de la provincia del mismo nombre.

***Cultivos agrícolas y pastos cultivados (CA - PC).*** Los cultivos agrícolas están representados los cultivos propios de cada lugar, como el maíz y la papa; y los pastos cultivados mayormente son representados por la asociación *rye grass* más trébol blanco. (Alcántara, 2012, p. 31)

Esta agrupación representa el 0,36% de las asociaciones de cobertura vegetal y abarca una superficie de 2,35 km<sup>2</sup> siendo el 0,20% del área total de estudio, por lo cual, es la clasificación con menor extensión dentro de la subcuenca perteneciente al río Chotano, distribuida al sur en el distrito de Chota de la provincia de Chota.

***Cultivos agrícolas y pastos naturales (CA - PN).*** Se localiza en las partes altas de la región, donde los principales cultivos son la papa, el trigo, la cebada, las ocas y los ollucos; y los pastos naturales mayormente son representados por un estrato herbáceo principalmente de gramíneas de géneros diversos. (Alcántara, 2012, p. 28)

Esta agrupación representa el 5,48% de las asociaciones de cobertura vegetal y abarca una superficie de 36,22 km<sup>2</sup> siendo el 3,10% del área total de la subcuenca de estudio, que está distribuida en el distrito de Chota de la provincia del mismo nombre.

***Cultivos agrícolas y vegetación arbustiva (CA - VA).*** Esta asociación se encuentra distribuida en áreas donde se ha ampliado la frontera agrícola y ocupa un paisaje heterogéneo de relieve mayormente ondulado. Los cultivos agrícolas son propios de cada zona y ambiente ecológico, mientras que la vegetación arbustiva está formada por arbustos que tienen mayor densidad durante la época de lluvias. (Alcántara, 2012, p. 28)

Esta agrupación representa el 21,39% de las asociaciones de cobertura vegetal y abarca una superficie de 141,29 km<sup>2</sup> siendo el 12,10% del área total de la subcuenca perteneciente al río Chotano, que está distribuida en los distritos de Chota, Huambos, Lajas y Querocoto, de la provincia de Chota, y en el distrito de Cutervo de la provincia de Cutervo.

***Vegetación escasa y cultivos agrícolas (VE - CA).*** En esta asociación también existe la presencia de afloramientos rocosos; asimismo, los cultivos agrícolas están constituidos por cereales por estar ubicados en suelos con pendientes pronunciadas y de escasa profundidad efectiva. (Alcántara, 2012, p. 29)

Esta agrupación es el 30,29% de las asociaciones de cobertura vegetal y abarca una superficie de 200,09 km<sup>2</sup> siendo el 17,14% del área total de estudio; por lo cual, es la tercera clasificación a nivel de cobertura vegetal que ocupa una mayor extensión dentro de la subcuenca de estudio, que está distribuida en los distritos de Chota, Cochabamba, Huambos y Lajas, de la provincia de Chota, y en el distrito de Cutervo de la provincia del mismo nombre.

***Vegetación escasa y pastos naturales (VE - PN).*** En esta asociación también existe la presencia de afloramientos rocoso; asimismo, se ubican en zonas altas con escasa cobertura vegetal acompañada mayormente con pastos naturales en mal estado de desarrollo asociado con afloramientos rocosos y suelos esqueléticos muy erosionados. (Alcántara, 2012, p. 33)

Esta agrupación representa el 0,81% de las asociaciones de cobertura vegetal y abarca una superficie de 5,36 km<sup>2</sup> siendo el 0,46% del área total de estudio; por lo cual, es la segunda clasificación con menor extensión dentro de la subcuenca perteneciente al río Chotano; que está distribuida en los distritos de Chota, Cochabamba, Huambos y Lajas, de la provincia de Chota, y en el distrito de Cutervo de la provincia del mismo nombre.

***Vegetación escasa y vegetación arbustiva (VE - VA).*** Es la asociación que en forma aislada se distribuye en grandes extensiones de las zonas altas del territorio de la mayoría de las provincias de Cajamarca. La vegetación arbustiva está formada por arbustos bastante densos durante el periodo de lluvias; mientras que el resto de las unidades están cubiertas por escasa vegetación con presencia de afloramientos rocosos. (Alcántara, 2012, p. 34)

Esta agrupación representa el 37,50% de las asociaciones de cobertura vegetal y abarca una superficie de 247,67 km<sup>2</sup> siendo el 21,22% del área total de estudio; por lo cual, es la segunda clasificación a nivel de cobertura vegetal que ocupa una mayor extensión dentro de la subcuenca perteneciente al río Chotano; que está distribuida en todos los distritos de las dos provincias que comprende la subcuenca de estudio.

Tabla 35

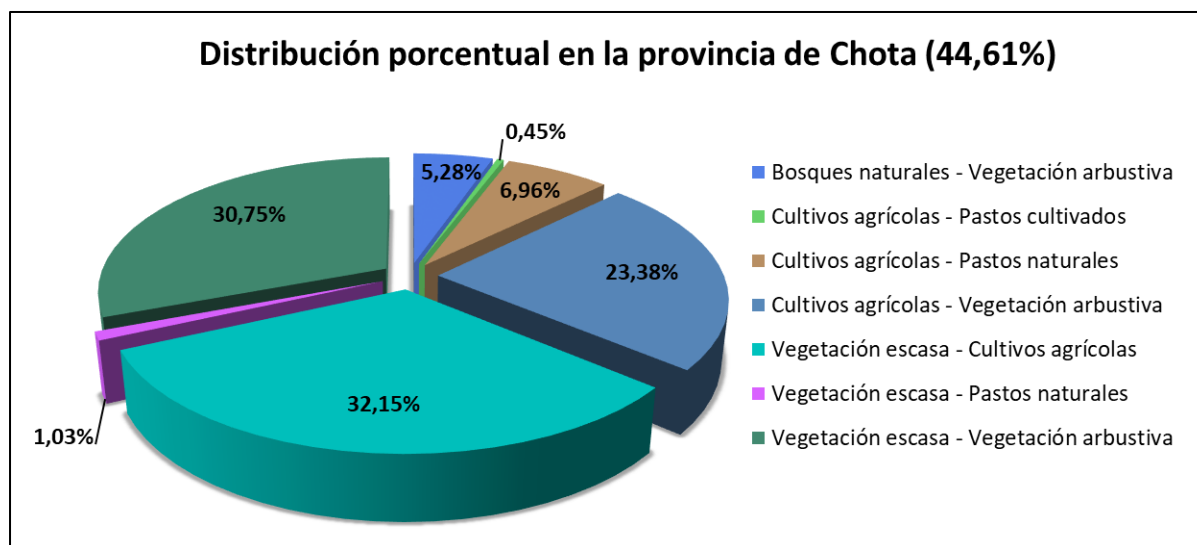
*Distribución de cobertura vegetal para la provincia de Chota - Asociaciones.*

Simbología	Provincia de Chota						%	Porcentaje de la subcuenca (%)
	Área por distrito (Km <sup>2</sup> )							
	Chota	Cochabamba	Huambos	Lajas	Quero-coto	Total		
BN - VA	13,66	0,00	10,05	0,00	3,78	27,49	5,28	2,36
CA - PC	2,35	0,00	0,00	0,00	0,00	2,35	0,45	0,20
CA - PN	36,22	0,00	0,00	0,00	0,00	36,22	6,96	3,10
CA - VA	30,88	0,00	2,70	43,77	44,42	121,77	23,38	10,43
VE - CA	42,75	47,35	38,64	38,66	0,00	167,40	32,15	14,34
VE - PN	3,62	0,00	0,00	1,74	0,00	5,36	1,03	0,46
VE - VA	27,22	54,81	45,73	8,42	23,94	160,12	30,75	13,72
<b>Total</b>	<b>156,70</b>	<b>102,16</b>	<b>97,12</b>	<b>92,59</b>	<b>72,14</b>	<b>520,71</b>	<b>100,00</b>	<b>44,61</b>

Nota. La distribución de la cobertura vegetal en asociaciones para la provincia de Chota cubre una extensión de 520,71 km<sup>2</sup> equivalente al 44,61% de la subcuenca de estudio. La descripción de la simbología para cada cobertura vegetal se detalla en la *Tabla 30*.

Figura 15

*Distribución porcentual de la cobertura vegetal (asociaciones) que abarca la subcuenca de estudio en la provincia de Chota.*



**Tabla 36**

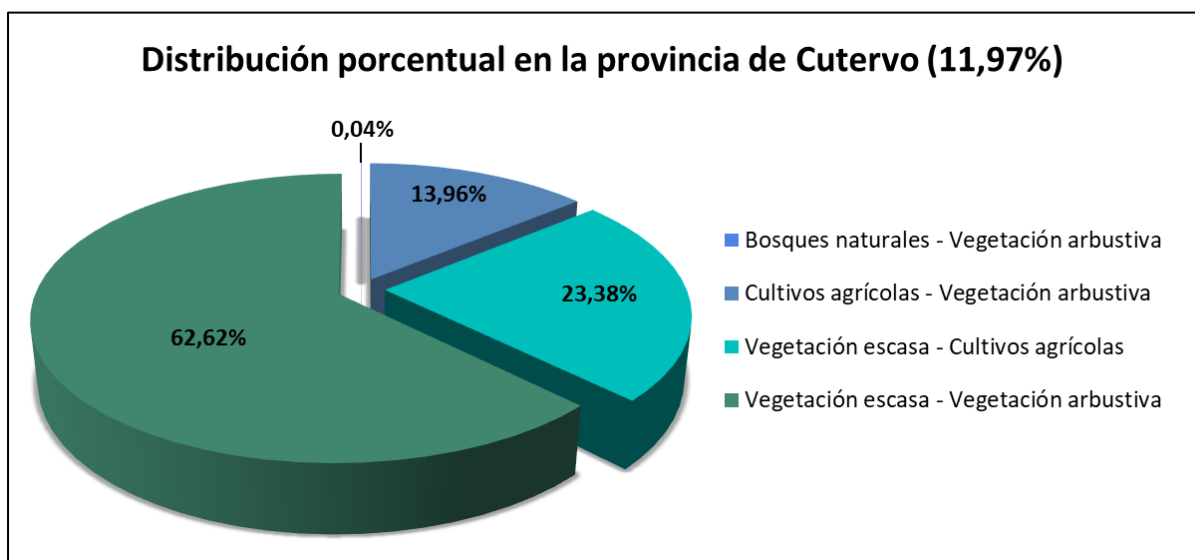
*Distribución de cobertura vegetal para la provincia de Cutervo - Asociaciones.*

Simbología	Provincia de Cutervo			%	Porcentaje de la subcuena (%)
	Área por distrito (Km <sup>2</sup> )				
	Cutervo	Querocotillo	Total		
BN - VA	0,05	0,00	0,05	0,04	NR
CA - VA	19,52	0,00	19,52	13,96	1,67
VE - CA	32,69	0,00	32,69	23,38	2,80
VE - VA	54,33	33,22	87,55	62,62	7,50
<b>Total</b>	106,59	33,22	139,81	100,00	11,97

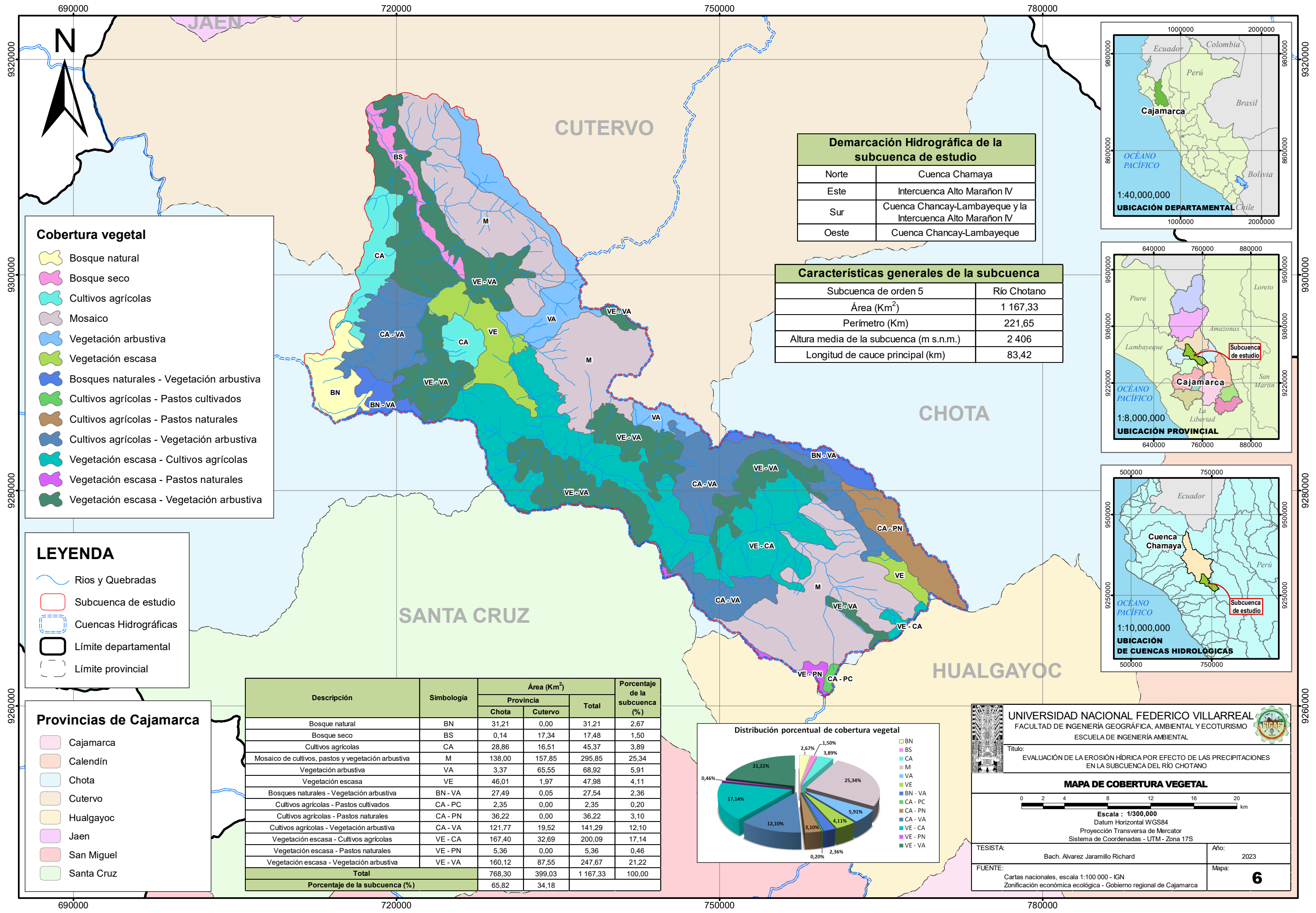
Nota. NR: No representativo. La distribución de la cobertura vegetal en asociaciones para la provincia de Cutervo abarca un 139,81 km<sup>2</sup> siendo el 11,97% de la subcuena de estudio. La descripción de la simbología para cada cobertura vegetal se detalla en la *Tabla 30*.

**Figura 16**

*Distribución porcentual de la cobertura vegetal (asociaciones) que abarca la subcuena de estudio en la provincia de Cutervo.*



Al respecto, el Gobierno Regional de Cajamarca realiza un mapa sobre la vegetación natural de la zona, en la cual se categoriza a los grupos relacionados con los cultivos agrícolas como “otras coberturas”.



Demarcación Hidrográfica de la subcuenca de estudio	
Norte	Cuenca Chamaya
Este	Intercuenca Alto Marañón IV
Sur	Cuenca Chancay-Lambayeque y la Intercuenca Alto Marañón IV
Oeste	Cuenca Chancay-Lambayeque

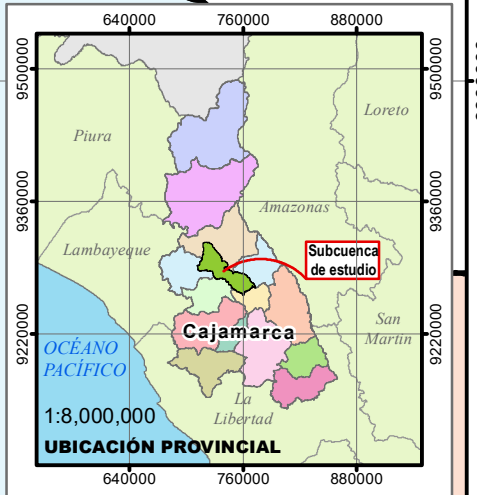
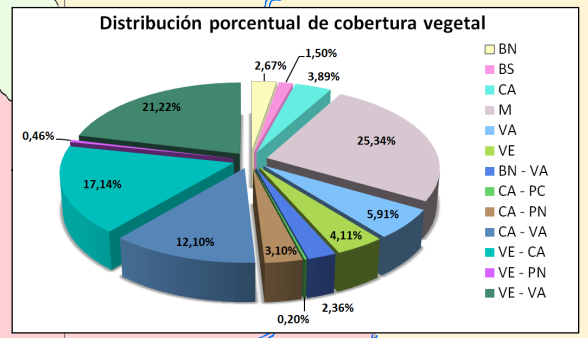
Características generales de la subcuenca	
Subcuenca de orden 5	Río Chotano
Área (Km <sup>2</sup> )	1 167,33
Perímetro (Km)	221,65
Altura media de la subcuenca (m s.n.m.)	2 406
Longitud de cauce principal (km)	83,42

- Cobertura vegetal**
- Bosque natural
  - Bosque seco
  - Cultivos agrícolas
  - Mosaico
  - Vegetación arbustiva
  - Vegetación escasa
  - Bosques naturales - Vegetación arbustiva
  - Cultivos agrícolas - Pastos cultivados
  - Cultivos agrícolas - Pastos naturales
  - Cultivos agrícolas - Vegetación arbustiva
  - Vegetación escasa - Cultivos agrícolas
  - Vegetación escasa - Pastos naturales
  - Vegetación escasa - Vegetación arbustiva

- LEYENDA**
- Rios y Quebradas
  - Subcuenca de estudio
  - Cuencas Hidrográficas
  - Límite departamental
  - Límite provincial

- Provincias de Cajamarca**
- Cajamarca
  - Calendín
  - Chota
  - Cutervo
  - Hualgayoc
  - Jaen
  - San Miguel
  - Santa Cruz

Descripción	Simbología	Área (Km <sup>2</sup> )		Porcentaje de la subcuenca (%)	
		Provincia			
		Chota	Cutervo		
Bosque natural	BN	31,21	0,00	31,21	2,67
Bosque seco	BS	0,14	17,34	17,48	1,50
Cultivos agrícolas	CA	28,86	16,51	45,37	3,89
Mosaico de cultivos, pastos y vegetación arbustiva	M	138,00	157,85	295,85	25,34
Vegetación arbustiva	VA	3,37	65,55	68,92	5,91
Vegetación escasa	VE	46,01	1,97	47,98	4,11
Bosques naturales - Vegetación arbustiva	BN - VA	27,49	0,05	27,54	2,36
Cultivos agrícolas - Pastos cultivados	CA - PC	2,35	0,00	2,35	0,20
Cultivos agrícolas - Pastos naturales	CA - PN	36,22	0,00	36,22	3,10
Cultivos agrícolas - Vegetación arbustiva	CA - VA	121,77	19,52	141,29	12,10
Vegetación escasa - Cultivos agrícolas	VE - CA	167,40	32,69	200,09	17,14
Vegetación escasa - Pastos naturales	VE - PN	5,36	0,00	5,36	0,46
Vegetación escasa - Vegetación arbustiva	VE - VA	160,12	87,55	247,67	21,22
<b>Total</b>		<b>768,30</b>	<b>399,03</b>	<b>1 167,33</b>	<b>100,00</b>
<b>Porcentaje de la subcuenca (%)</b>		<b>65,82</b>	<b>34,18</b>		



**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Título:  
 EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR EFECTO DE LAS PRECIPITACIONES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHOTANO

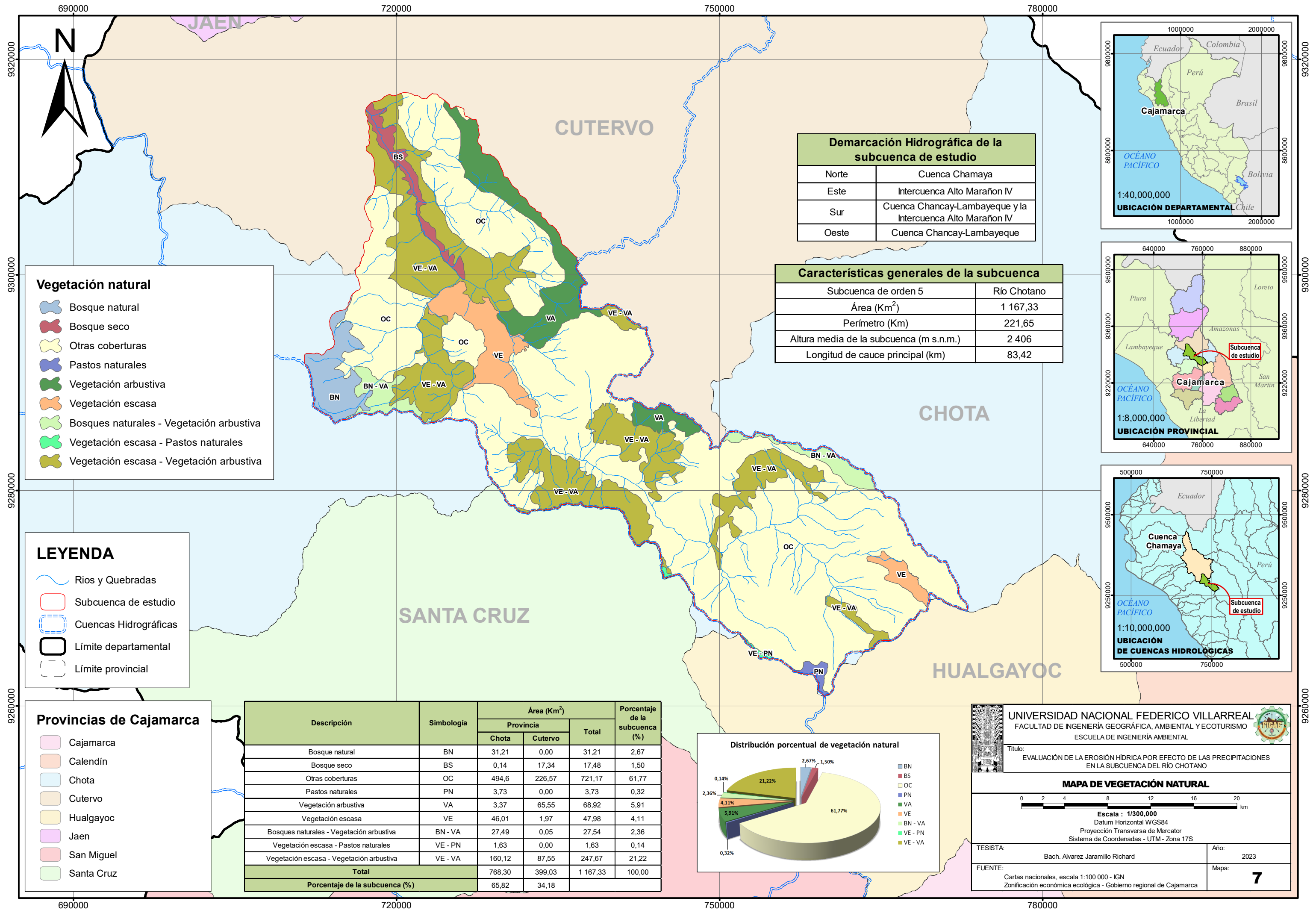
**MAPA DE COBERTURA VEGETAL**

Escala : 1/300,000  
 Datum Horizontal WGS84  
 Proyección Transversa de Mercator  
 Sistema de Coordenadas - UTM - Zona 17S

TESISTA: Bach. Alvarez Jaramillo Richard Año: 2023

FUENTE: Cartas nacionales, escala 1:100 000 - IGN  
 Zonificación económica ecológica - Gobierno regional de Cajamarca Mapa: **6**





**Demarcación Hidrográfica de la subcuenca de estudio**

Norte	Cuenca Chamaya
Este	Intercuenca Alto Marañón IV
Sur	Cuenca Chancay-Lambayeque y la Intercuenca Alto Marañón IV
Oeste	Cuenca Chancay-Lambayeque

**Características generales de la subcuenca**

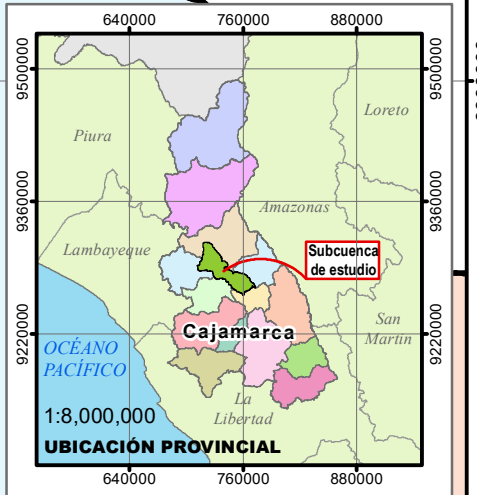
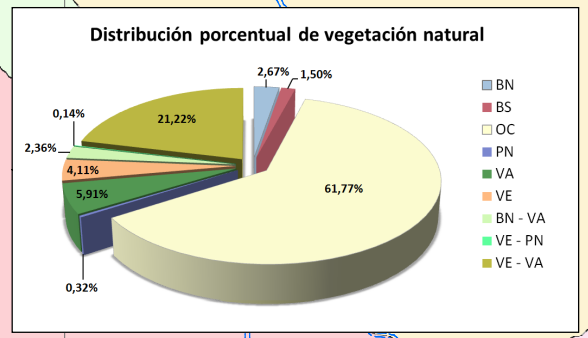
Subcuenca de orden 5	Río Chotano
Área (Km <sup>2</sup> )	1 167,33
Perímetro (Km)	221,65
Altura media de la subcuenca (m s.n.m.)	2 406
Longitud de cauce principal (km)	83,42

- Vegetación natural**
- Bosque natural
  - Bosque seco
  - Otras coberturas
  - Pastos naturales
  - Vegetación arbustiva
  - Vegetación escasa
  - Bosques naturales - Vegetación arbustiva
  - Vegetación escasa - Pastos naturales
  - Vegetación escasa - Vegetación arbustiva

- LEYENDA**
- Rios y Quebradas
  - Subcuenca de estudio
  - Cuencas Hidrográficas
  - Límite departamental
  - Límite provincial

- Provincias de Cajamarca**
- Cajamarca
  - Calendín
  - Chota
  - Cutervo
  - Hualgayoc
  - Jaen
  - San Miguel
  - Santa Cruz

Descripción	Simbología	Área (Km <sup>2</sup> )			Porcentaje de la subcuenca (%)
		Chota	Cutervo	Total	
Bosque natural	BN	31,21	0,00	31,21	2,67
Bosque seco	BS	0,14	17,34	17,48	1,50
Otras coberturas	OC	494,6	226,57	721,17	61,77
Pastos naturales	PN	3,73	0,00	3,73	0,32
Vegetación arbustiva	VA	3,37	65,55	68,92	5,91
Vegetación escasa	VE	46,01	1,97	47,98	4,11
Bosques naturales - Vegetación arbustiva	BN - VA	27,49	0,05	27,54	2,36
Vegetación escasa - Pastos naturales	VE - PN	1,63	0,00	1,63	0,14
Vegetación escasa - Vegetación arbustiva	VE - VA	160,12	87,55	247,67	21,22
<b>Total</b>		<b>768,30</b>	<b>399,03</b>	<b>1 167,33</b>	<b>100,00</b>
<b>Porcentaje de la subcuenca (%)</b>		<b>65,82</b>	<b>34,18</b>		



**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Título:  
 EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR EFECTO DE LAS PRECIPITACIONES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHOTANO

**MAPA DE VEGETACIÓN NATURAL**

Escala : 1/300,000  
 Datum Horizontal WGS84  
 Proyección Transversa de Mercator  
 Sistema de Coordenadas - UTM - Zona 17S

TESISTA: Bach. Alvarez Jaramillo Richard Año: 2023

FUENTE: Cartas nacionales, escala 1:100 000 - IGN  
 Zonificación económica ecológica - Gobierno regional de Cajamarca Mapa: **7**



### 3.2.9. Suelos

El suelo constituye el recurso más importante para el desarrollo de la vida de las plantas y animales incluido el hombre; su estudio como cuerpo natural diferenciado por sus características físico químicas y biológicas, así como los factores para su formación, constituyen el aspecto básico para determinar el potencial edáfico con que cuenta el departamento. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p. 5)

Con la información obtenida de la ZEE del Gobierno Regional de Cajamarca, se identificaron las unidades de suelos taxonómicamente agrupadas y descritas como Grandes Grupos de suelos según la Soil Taxonomy - USDA, que a su vez están correlacionadas con la leyenda del mapa de suelos del mundo de la FAO 2006, de los cuales, se observan cinco consociaciones y diez asociaciones en la subcuenca de estudio.

Estas unidades de suelos han sido delimitadas espacialmente por el Gobierno Regional de Cajamarca mediante unidades cartográficas de consociación y asociación de grandes grupos de suelos, con la finalidad de conocer la distribución de estos grupos, se calcularon sus respectivas áreas:

**Tabla 37**

*Distribución de grandes grupos de suelo en la subcuenca de estudio.*

	Simbología	Área (Km <sup>2</sup> )			Porcentaje de la subcuenca (%)
		Provincia		Total	
		Chota	Cutervo		
<b>Consociaciones</b>	T	47,79	43,56	91,35	7,82
	L	19,90	0,00	19,90	1,70
	PS	15,73	0,00	15,73	1,35
	H	42,08	8,00	50,08	4,29
	R	13,08	48,36	61,44	5,26
	<b>Subtotal</b>	138,58	99,92	238,50	20,42

	Simbología	Área (Km <sup>2</sup> )		Total	Porcentaje de la subcuenca (%)
		Provincia			
		Chota	Cutervo		
Asociaciones	T - L	29,62	0,36	29,98	2,57
	T - R	0,08	8,15	8,23	0,71
	B - L	37,50	89,40	126,90	10,87
	B - R	0,00	3,96	3,96	0,34
	J - H	9,46	4,32	13,78	1,18
	K - L	115,61	42,52	158,13	13,55
	L - R	129,51	38,48	167,99	14,39
	PS - L	107,13	0,00	107,13	9,18
	H - L	200,81	59,90	260,71	22,33
	R - X	0,00	52,02	52,02	4,46
	<b>Subtotal</b>	629,72	299,11	928,83	79,58
	<b>Total</b>	768,30	399,03	1167,33	100,00
	<b>Porcentaje de la subcuenca (%)</b>	65,82	34,18		

Nota. Las consociaciones abarcan una superficie de 238,50 km<sup>2</sup> equivalente al 20,42% de la subcuenca de estudio y las asociaciones cubren un 928,83 km<sup>2</sup> siendo el 79,58% restante. La descripción de la simbología para cada tipo de suelo se detalla en la *Tabla 38*.

**Tabla 38**

*Descripción de la simbología para cada grupo de suelo.*

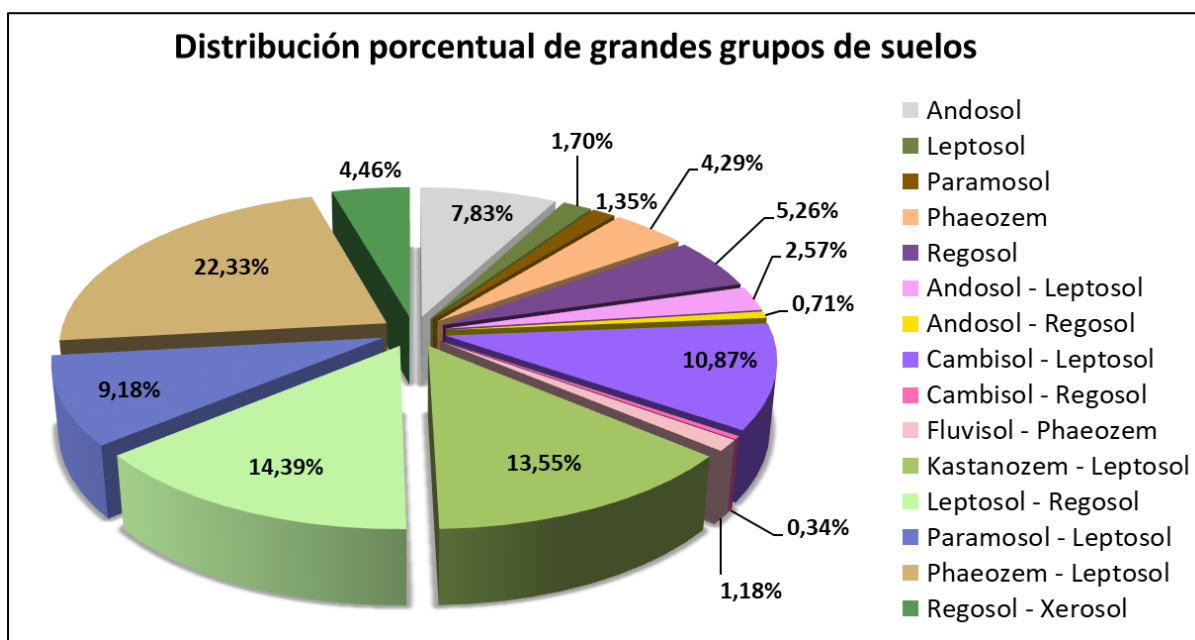
Simbología	Descripción
T	Andosol
L	Leptosol
PS	Paramosol
H	Phaeozem
R	Regosol
T - L	Andosol - Leptosol
T - R	Andosol - Regosol
B - L	Cambisol - Leptosol
B - R	Cambisol - Regosol
J - H	Fluvisol - Phaeozem
K - L	Kastanozem - Leptosol

Simbología	Descripción
L - R	Leptosol - Regosol
PS - L	Paramosol - Leptosol
H - L	Phaeozem - Leptosol
R - X	Regosol - Xerosol

Nota. Simbología tomada del *Estudio de suelos y capacidad de uso mayor del departamento de Cajamarca*, de Poma y Alcántara; 2010-2011, p. 17.

**Figura 17**

*Distribución porcentual de grandes grupos de suelos en la subcuenca de estudio.*



Nota. El grupo de suelo que ocupa una mayor extensión es la asociación Phaeozem - Leptosol, con una superficie de 260,71 km<sup>2</sup> equivalente al 22,33% del área total de la subcuenca perteneciente al río Chotano.

**3.2.9.1. Descripción de las consociaciones de suelos.** A continuación, se detalla los tipos de consociaciones de grandes grupos de suelos identificados en la subcuenca de estudio del río Chotano, así como el porcentaje y la superficie que abarca cada grupo de suelo de esta categoría; al respecto, todas las consociaciones ocupan un área de 238,50 km<sup>2</sup> equivalente al 20,42% de la superficie total de la subcuenca de estudio.

**Tabla 39**

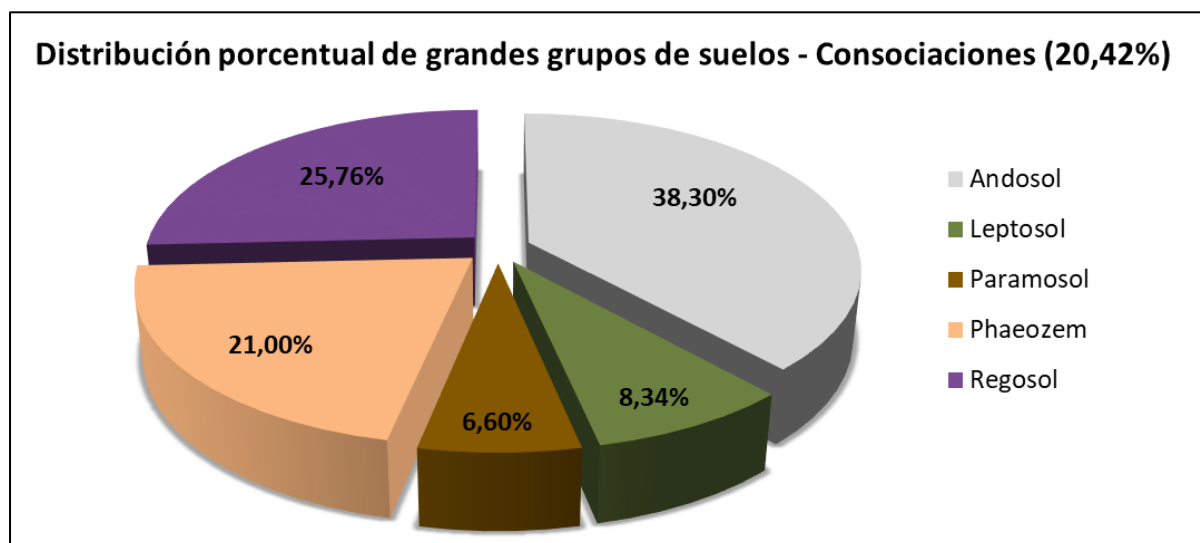
*Distribución de grandes grupos de suelos en la subcuenca de estudio - Consociaciones.*

Simbología	Área (Km <sup>2</sup> )			Consociaciones (%)	Porcentaje de la subcuenca (%)
	Provincia		Total		
	Chota	Cutervo			
<b>T</b>	47,79	43,56	91,35	38,30	7,82
<b>L</b>	19,90	0,00	19,90	8,34	1,70
<b>PS</b>	15,73	0,00	15,73	6,60	1,35
<b>H</b>	42,08	8,00	50,08	21,00	4,29
<b>R</b>	13,08	48,36	61,44	25,76	5,26
<b>Total</b>	138,58	99,92	238,50	100,00	20,42
<b>Porcentaje de la subcuenca (%)</b>	11,87	8,56			

Nota. De las cinco consociaciones; el grupo andosol (T) cubre la mayor extensión con 91,35 km<sup>2</sup> que representa el 38,30% de las consociaciones y el 7,82% del área de estudio, mientras que el paramosol (PS) presenta la menor distribución con 15,73 km<sup>2</sup> que representa el 1,35% de la subcuenca perteneciente al río Chotano. La descripción de la simbología para cada tipo de suelo se detalla en la *Tabla 38*.

**Figura 18**

*Distribución porcentual de suelos en la subcuenca de estudio - Consociaciones.*



Seguidamente, se detallan los tipos de consociaciones de suelos identificados en la subcuenca del río Chotano:

**Andosol (T).** Este grupo representa el 38,30% de las consociaciones y comprende una superficie de 91,35 km<sup>2</sup> siendo el 7,82% del área total de la subcuenca de estudio, que está distribuido en los distritos de Huambos y Querocoto, de la provincia de Chota, y en los distritos de Cutervo y Querocotillo, de la provincia de Cutervo.

Poma y Alcántara (2010-2011), señala que, son suelos de desarrollo moderado, con características favorables principalmente para las actividades pecuarias y forestales, presentan un relieve ondulado y en su mayor extensión se encuentran ocupados por pastos naturales, bosques naturales y vegetación arbustiva, sin embargo, en algunos lugares existe la presencia de cultivos agrícolas. (p. 19)

**Características Generales.** Pertenece al Orden *Andisols* y al Gran grupo *Haplustands*. Son suelos de desarrollo *in situ*, formados a partir de rocas volcánicas, así como depósitos de materiales detríticos gruesos y finos derivados de estas mismas rocas; se encuentran principalmente en laderas de montañas, así como también sobre depósitos coluvio-aluviales de piedemonte, en una topografía irregular, con pendientes ligeramente inclinadas a empinadas. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p. 19)

Por lo general, son suelos que tienen buena capacidad para almacenar la humedad y contienen abundantes nutrientes, pero su potencial agrícola baja por ubicarse en pendientes empinadas; el perfil dominante es A/C, pero en partes también se observa un A/B. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p. 19)

Son suelos superficiales a moderadamente profundos, de texturas medias, drenaje bueno, con alta capacidad de retención de humedad, de reacción fuertemente a ligeramente

ácida, con pendientes mayormente empinadas, ligeramente pedregosos y erosión moderada. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p. 19)

La fertilidad natural de estos suelos es media, con niveles medios a altos en materia orgánica, niveles medios en nitrógeno total, bajos a medios en fósforo, medios a altos en potasio y saturación de bases media. De acuerdo a estas características físicas y químicas se trata de suelos de fertilidad media. Su aptitud se orienta para tierras forestales y actividades pecuarias, pastoreo controlado. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p. 19)

### Figura 19

*Descripción resumida del Andosol por la FAO.*

**Connotación:** Típicamente, suelos oscuros de paisajes volcánicos; del japonés *an*, oscuro, y *do*, suelo.

**Material parental:** Eyecciones volcánicas ricas en vidrio (principalmente cenizas, pero también toba, piedra pómez, escoria y otros) bajo casi cualquier clima, o cualquier otro material rico en silicato bajo meteorización ácida en climas húmedo y perhúmedo.

**Ambiente:** De ondulado a montañoso, del Ártico a las regiones tropicales húmedas, en su mayoría con una amplia gama de tipos de vegetación.

**Desarrollo del perfil:** La meteorización rápida de vidrio volcánico resulta en la acumulación de complejos órgano-minerales estables (calificador Aluandic) o minerales de bajo grado de ordenamiento tales como alofano e imogolita (calificador Silandic). Además, se forma ferrihidrita. La meteorización ácida de otros materiales ricos en silicato en climas húmedo y perhúmedo también conduce a la formación de complejos órgano-minerales estables.

Nota. Tomado de la *Base referencial mundial del recurso suelo 2014*, por la FAO, 2015, p. 155.

**Leptosol (L).** Este grupo representa el 8,34% de las consociaciones y comprende una superficie de 19,90 km<sup>2</sup> siendo el 1,70% del área total de la subcuenca de estudio, que está distribuido en los distritos de Chota y Lajas, de la provincia de Chota. Según Poma y Alcántara (2010-2011) estos suelos se encuentran ocupados por paisajes de vegetación escasa y afloramientos rocosos. (p. 22)

**Características Generales.** Pertenece al Orden *Inceptisols* y al Gran grupo *Humitropepts*. Son suelos desarrollados a partir de rocas areniscas cuarcíticas y en partes derivados de rocas calizas y volcánicas. El perfil dominante es A/R, A/C y abundantes afloramientos rocosos. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p. 22)

Estos suelos son desde muy superficiales a superficiales, desde la parte más baja hasta las regiones altoandinas, se localizan en laderas de colina y de montañas, presenta una textura de ligera a media, drenaje mayormente excesivo con escasa capacidad de retención de humedad, con una permeabilidad moderada a moderadamente rápida, de reacción desde fuertemente ácido a ligeramente alcalina, pendientes inclinadas a fuertemente empinadas, pedregosos y erosión severa. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p. 22)

La fertilidad natural de estos suelos es baja; con niveles bajos de materia orgánica, niveles medios a bajos en nitrógeno total, medios en fósforo, medios a altos en potasio y saturación de bases baja a media. Su aptitud se orienta a tierras de protección como refugio de la fauna silvestre. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p. 22)

## Figura 20

*Descripción resumida del Leptosol por la FAO.*

**Connotación:** Suelos delgados; del griego *leptos*, delgado.

**Material parental:** Varios tipos de roca continua o de materiales no consolidados con menos del 20% (en volumen) de tierra fina.

**Ambiente:** Principalmente terrenos en elevada o mediana altitud y con fuerte pendiente topográfica. Los Leptosols se encuentran en todas las zonas climáticas (muchos de ellos en zonas secas cálidas o frías), particularmente en áreas intensamente erosionadas.

**Desarrollo del perfil:** Los Leptosols tienen roca continua en o muy cerca de la superficie o son extremadamente pedregosos. En material calcáreo meteorizado pueden tener un horizonte *móllico*.

Nota. Tomado de la *Base referencial mundial del recurso suelo 2014*, por la FAO, 2015, p. 173-174.

**Paramosol (PS).** Mencionado en la ZEE del Gobierno Regional de Cajamarca, este grupo representa el 6,60% de las consociaciones y comprende una superficie de 15,73 km<sup>2</sup> siendo el 1,35% del área total de la subcuenca perteneciente al río Chotano, que está distribuido en el distrito de Chota de la provincia del mismo nombre.

Poma y Alcántara (2010-2011), señala que, este tipo de suelo, en la región de Cajamarca, se ubica por encima de los 3600 m s.n.m. con presencia de pastos naturales y vegetación escasa más afloramientos rocosos en la zona, donde el clima es el principal factor limitante, durante todo el año se evidencian heladas, granizadas, sequías y fuertes precipitaciones. (p. 24)

**Características Generales.** Pertenece al Orden *Andisols* y al Gran grupo *Haplocryands*. Son desarrollados a partir de rocas areniscas, calizas y cuarcitas, como también de volcánicas. El perfil dominante es A(B)C, sin embargo, pueden existir perfiles de tipo A/C, A/R, C/R y afloramientos rocosos. La fertilidad natural de estos suelos es baja; con niveles altos en materia orgánica, niveles medios a altos en nitrógeno total, bajos a medios en fósforo, medios en potasio y saturación de bases baja a media. Su aptitud se orienta a tierras de protección como una zona de recarga hídrica, así como para el pastoreo controlado. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p. 24)

Estos suelos son desde moderadamente profundos a profundos, pudiendo existir suelos superficiales, en la región de Cajamarca ocupan las laderas de colinas y montañas, son de textura media, drenaje bueno, suelos con alta capacidad de retención de humedad, de reacción fuertemente a ligeramente ácida; presentan una permeabilidad moderada, pendientes empinadas a muy empinadas, pedregosos a muy pedregosos y erosión moderada a severa. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p. 24)



*Phaeozem (H)*. Este grupo representa el 21,00% de las consociaciones y abarca una superficie de 50,08 km<sup>2</sup> siendo el 4,29% del área total de la subcuenca de estudio, que está distribuido en los distritos de Chota, Cochabamba, Huambos y Lajas, de la provincia de Chota, y en el distrito de Cutervo de la provincia de Cutervo. Según Poma y Alcántara (2010-2011) estos suelos en la región de Cajamarca se encuentran ocupados principalmente por paisajes de cultivos agrícolas. (p. 25)

**Características Generales.** Pertenece al Orden *Mollisols* y al Gran grupo *Argiudolls*. Son suelos desarrollados por depósitos de material detrítico fino de diferente naturaleza, areniscas, cuarcitas, lutitas y en algunos casos de calizas, de origen aluvio coluvial; con un perfil de tipo ABC o A(B)C, desde moderadamente profundos a muy profundos, se localizan en laderas suaves y planicies, de texturas medias en superficie y pesadas en profundidad, con buena capacidad de retención de humedad, drenaje bueno, reacción moderadamente ácido a moderadamente alcalina, pendientes ligeramente inclinada a inclinada, pudiendo llegar a moderadamente empinada, con una permeabilidad moderada a moderadamente lenta; son ligeramente pedregosos y de erosión moderada. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p. 25)

La fertilidad natural de estos suelos es media; con niveles medios en materia orgánica, niveles medios en nitrógeno total, medios a altos en fósforo, altos en potasio y saturación de bases alta. De acuerdo a estas características físicas y químicas se trata de suelos de fertilidad media, que pueden ser dedicados a las actividades agrícolas y pecuarias. Su aptitud se orienta a cultivos agrícolas como el maíz, la papa o algún otro cultivo alternativo que se adapte a la zona. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p. 25)

## Figura 21

*Descripción resumida del Phaeozem por la FAO.*

**Connotación:** Suelos oscuros, ricos en materia orgánica, del griego *phaios*, oscuro, y el ruso *zemlya*, tierra.

**Material parental:** Eólico (loess), till glacial y otros no consolidados, predominantemente materiales básicos.

**Ambiente:** Cálido a frío (por ejemplo, las tierras altas tropicales) en regiones moderadamente continentales, con humedad suficiente para que exista, en la mayoría de los años, algo de percolación a través del suelo, pero también con períodos en los cuales el suelo se seque; terreno plano u ondulado; la vegetación natural es de praderas, como la estepa de pastos altos, y/o bosque.

**Desarrollo del perfil:** Un horizonte *móllico* o, menos común, un horizonte *chémico* (más delgado y en muchos suelos menos oscuro que en los Chernozems), principalmente sobre un horizonte subsuperficial *cámbico* o *árgico*.

Nota. Tomado de la *Base referencial mundial del recurso suelo 2014*, por la FAO, 2015, p. 178.

**Regosol (R).** Este grupo representa el 25,76% de las consociaciones y comprende una superficie de 61,44 km<sup>2</sup> siendo el 5,26% del área total de la subcuenca de estudio, que está distribuido en los distritos de Huambos y Querocoto, de la provincia de Chota, y en el distrito de Querocotillo de la provincia de Cutervo. Según Poma y Alcántara (2010-2011) estos suelos en la región de Cajamarca se encuentran ocupados principalmente por paisajes de vegetación arbustiva. (p.25)

**Características Generales.** Pertenece al Orden *Entisols* y al Gran grupo *Ustorthents*. Son suelos desarrollados a partir de materiales no consolidados de origen aluvio coluvial, localizados en terrazas medias o como deposiciones en laderas y piedemonte, de materiales provenientes de la descomposición principalmente de rocas calizas, areniscas, cuarcitas y lutitas. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p.26)

No presentan horizontes de diagnóstico, a excepción de un epipedón A ócrico, a menos que estén recubiertos por 50 cm. de material nuevo. Son suelos superficiales, pedregosos de texturas ligeras, con drenaje excesivo, de reacción ligeramente ácido a ligeramente alcalinos, pendientes inclinadas, pudiendo llegar hasta pendientes empinadas; presenta una permeabilidad moderadamente rápida, erosión moderada a severa con presencia de surcos y cárcavas. Presentan un perfil dominante A/C, éste último constituido por abundantes fragmentos gruesos con escaso suelo. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p.26)

La fertilidad natural de estos suelos es baja; con niveles bajos de materia orgánica, niveles medios de nitrógeno total, medios en fósforo, altos en potasio y saturación de bases media a alta. Su aptitud está orientada a tierras de protección y forestales con fines de protección. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p.26)

## Figura 22

*Descripción resumida del Regosol por la FAO.*

**Connotación:** Suelos poco desarrollados en material no consolidado, del griego *rhegos*, manto.

**Material parental:** Material no consolidado, generalmente de grano fino.

**Ambiente:** En todas las zonas climáticas sin permafrost y a todas altitudes. Estos suelos son particularmente comunes en zonas áridas (incluyendo los trópicos secos) y en regiones montañosas.

**Desarrollo del perfil:** No hay horizontes de diagnóstico. El desarrollo del perfil es mínimo como una consecuencia de su corta edad y/o una formación del suelo muy lenta, por ejemplo, debido a la aridez.

Nota. Tomado de la *Base referencial mundial del recurso suelo 2014*, por la FAO, 2015, p. 183.

**Tabla 40**

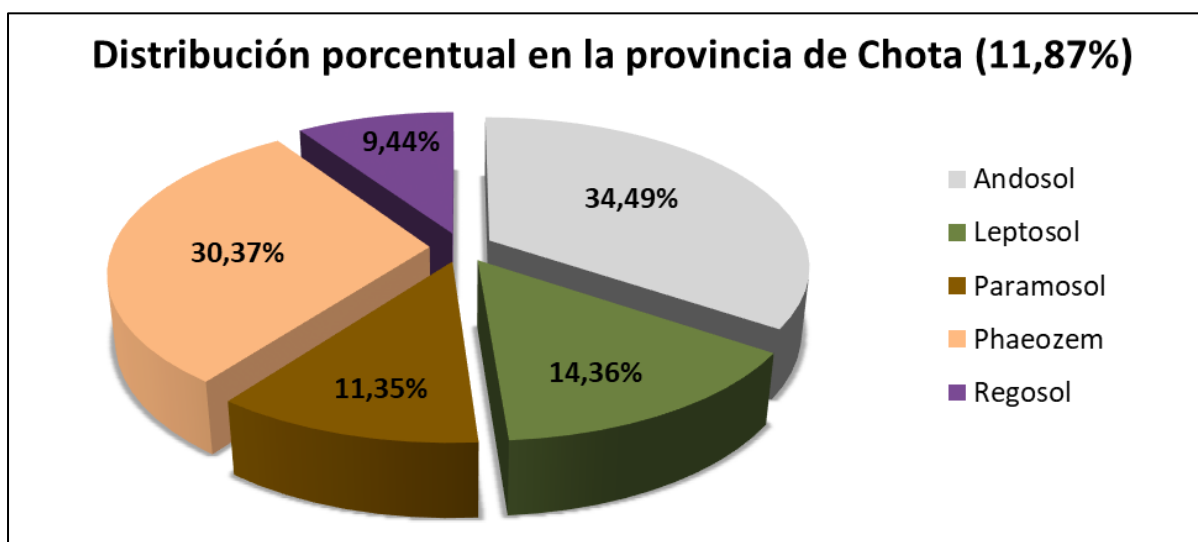
*Distribución de grandes grupos de suelos para la provincia de Chota - Consociaciones.*

Simbología	Provincia de Chota						Con- socia- ciones (%)	Porcentaje de la subcuenca (%)
	Área por distrito (Km <sup>2</sup> )							
	Chota	Cocha- bamba	Huam- bos	Lajas	Quero- coto	Total		
<b>T</b>	0,00	0,00	9,87	0,00	37,92	47,79	34,49	4,09
<b>L</b>	15,53	0,00	0,00	4,37	0,00	19,90	14,36	1,70
<b>PS</b>	15,73	0,00	0,00	0,00	0,00	15,73	11,35	1,35
<b>H</b>	23,61	8,75	1,21	8,51	0,00	42,08	30,37	3,61
<b>R</b>	0,00	0,00	0,10	0,00	12,98	13,08	9,44	1,12
<b>Total</b>	54,87	8,75	11,18	12,88	50,90	138,58	100,00	11,87

Nota. La distribución de los grupos de suelos en Consociaciones para la provincia de Chota abarca una superficie de 138,58 km<sup>2</sup> equivalente al 11,87% de la subcuenca de estudio. La descripción de la simbología para cada tipo de suelo se detalla en la *Tabla 38*.

**Figura 23**

*Distribución porcentual de suelos (Consociaciones) que abarca la subcuenca de estudio en la provincia de Chota.*



**Tabla 41**

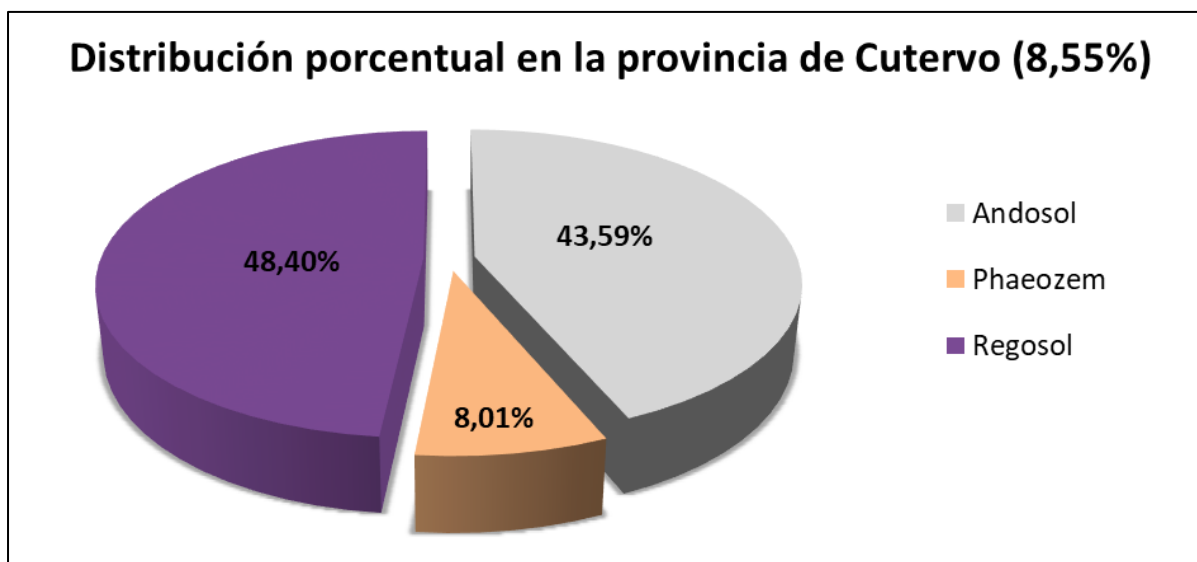
*Distribución de grandes grupos de suelos para la provincia de Cutervo - Consociaciones.*

Simbología	Provincia de Cutervo			Con-sociaciones (%)	Porcentaje de la subcuenca (%)
	Área por distrito (Km <sup>2</sup> )				
	Cutervo	Querocotillo	Total		
<b>T</b>	0,44	43,12	43,56	43,59	3,73
<b>H</b>	8,00	0,00	8,00	8,01	0,68
<b>R</b>	0,00	48,36	48,36	48,40	4,14
<b>Total</b>	8,44	91,48	99,92	100,00	8,55

Nota. La distribución de los grupos de suelos en Consociaciones para la provincia de Cutervo cubre una superficie de 99,92 km<sup>2</sup> equivalente al 8,55% de la subcuenca de estudio. La descripción de la simbología para cada tipo de suelo se detalla en la *Tabla 38*.

**Figura 24**

*Distribución porcentual de suelos (Consociaciones) que abarca la subcuenca de estudio en la provincia de Cutervo.*



**3.2.9.2. Descripción de las asociaciones de suelos.** A continuación, se detalla los tipos de asociaciones de grandes grupos de suelos identificados en la subcuenca de estudio del río Chotano, así como el porcentaje y la superficie que representa cada grupo de suelo de esta categoría; al respecto, todas las asociaciones ocupan un área de 928,83 km<sup>2</sup> equivalente al 79,58% de la superficie total de la subcuenca de estudio.

**Tabla 42**

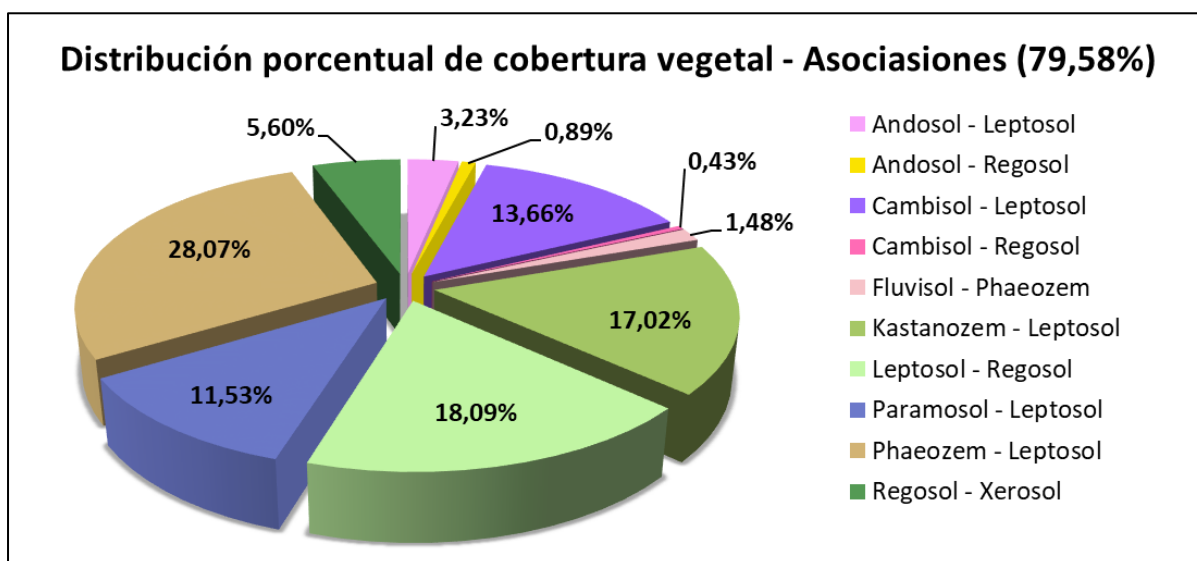
*Distribución de grandes grupos de suelos en la subcuenca de estudio - Asociaciones.*

Simbología	Área (Km <sup>2</sup> )			Asociaciones (%)	Porcentaje de la subcuenca (%)
	Provincia		Total		
	Chota	Cutervo			
<b>T - L</b>	29,62	0,36	29,98	3,23	2,57
<b>T - R</b>	0,08	8,15	8,23	0,89	0,71
<b>B - L</b>	37,50	89,40	126,90	13,66	10,87
<b>B - R</b>	0,00	3,96	3,96	0,43	0,34
<b>J - H</b>	9,46	4,32	13,78	1,48	1,18
<b>K - L</b>	115,61	42,52	158,13	17,02	13,55
<b>L - R</b>	129,51	38,48	167,99	18,09	14,39
<b>PS - L</b>	107,13	0,00	107,13	11,53	9,18
<b>H - L</b>	200,81	59,90	260,71	28,07	22,33
<b>R - X</b>	0,00	52,02	52,02	5,60	4,46
<b>Total</b>	629,72	299,11	928,83	100,00	79,58
<b>Porcentaje de la subcuenca (%)</b>	53,95	25,62			

Nota. De las diez asociaciones; el grupo phaeozem - leptosol (H - L) cubre la mayor extensión con 260,71 km<sup>2</sup> que representa el 28,07% de las asociaciones y el 22,33% del área de estudio, mientras que el cambisol - regosol (B - R) presenta la menor distribución con 3,96 km<sup>2</sup> que representa el 0,34% de la subcuenca perteneciente al río Chotano. La descripción de la simbología para cada tipo de suelo se detalla en la *Tabla 38*.

**Figura 25**

*Distribución porcentual de suelos en la subcuenca de estudio - Asociaciones.*



Seguidamente, se detallan los tipos de asociaciones de suelos identificados en la subcuenca del río Chotano:

***Andosol - Leptosol (T - L) (Haplustands - Humitropepts).*** Este grupo representa el 3,23% de las asociaciones y comprende una superficie de 29,98 km<sup>2</sup> siendo al 2,57% del área total de la subcuenca de estudio, que está distribuido en los distritos de Cochabamba, Huambos y Querocoto, de la provincia de Chota, y en el distrito de Querocotillo de la provincia de Cutervo. Según Poma y Alcántara (2010-2011) el material litológico que ha dado origen a estos suelos es variable, tales como areniscas, cuarcitas, calizas, lutitas y rocas volcánicas, estos suelos en la región de Cajamarca se encuentran ocupados con paisajes de vegetación arbustiva y cultivos agrícolas en pequeñas superficies. (p. 34)

***Características Generales.*** Se originan a partir de la descomposición de areniscas, cuarcitas, calizas y volcánicas; son suelos de perfil A(B)C, AC, AR; muy superficiales a profundos, de textura ligera a media, con drenaje bueno a excesivo, reacción fuertemente a ligeramente ácido; se localizan en laderas de colina, montañas y piedemonte; tiene una

permeabilidad moderada a moderadamente rápida, con pendientes moderadamente empinada a empinada. La fertilidad natural es baja a media, con contenido de materia orgánica que va de media a alta. Aptos para pastos, cultivos agrícolas propios de la zona como papa, maíz y cereales. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p. 34)

***Andosol - Regosol (T - R) (Haplustands - Ustorthents)***. Este grupo representa el 0,89% de las asociaciones y comprende una superficie de 8,23 km<sup>2</sup> siendo el 0,71% del área total de la subcuenca de estudio, que está distribuido en el distrito de Querocoto de la provincia de Chota, y en el distrito de Querocotillo de la provincia de Cutervo. Según Poma y Alcántara (2010-2011) son unidades que se encuentran ocupadas con paisajes de bosques naturales, vegetación arbustiva, pastos naturales, cultivos agrícolas y presencia de afloramientos rocosos. (p. 34-35)

***Características Generales***. Se originan a partir de la descomposición de materiales volcánicos mayormente endesíticos, son desarrollados a partir de materiales no consolidados de origen aluvio coluvial, localizados en terrazas medias o como deposiciones en laderas y piedemonte, de materiales provenientes de la descomposición principalmente de rocas calizas, areniscas, cuarcitas y lutitas. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p. 35)

Son suelos de perfil AB, AC, desde superficiales a muy superficiales, de textura media, con drenaje bueno a excesivo, reacción fuertemente a ligeramente ácido; se localizan en laderas de colina, montañas y piedemonte; tiene una permeabilidad moderada, con pendientes empinadas a fuertemente empinadas, pH moderadamente ácido. La fertilidad natural es media, con contenido medio de materia orgánica; generalmente aptos para pastos. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p. 35)

***Cambisol - Leptosol (B - L) (Cryaquepts - Humitropepts)***. Este grupo representa el 13,66% de las asociaciones y comprende una superficie de 126,90 km<sup>2</sup> siendo el 10,87% del



área total de la subcuenca de estudio, que está distribuido en los distritos de Chota, Cochabamba y Lajas, de la provincia de Chota, y en el distrito de Cutervo de la provincia del mismo nombre.

Según Poma y Alcántara (2010-2011) estos suelos se caracterizan por ser desde moderadamente desarrollados hasta sin desarrollo genético, presentan relieve ondulado como paisaje dominante empinado, en la región de Cajamarca se encuentran ocupados con paisajes de bosques naturales, vegetación arbustiva, vegetación escasa, afloramientos rocosos y pequeñas parcelas de cultivos agrícolas. (p. 35-36)

***Características Generales.*** Generalmente son de desarrollo *in situ*, formados a partir de rocas calizas, areniscas y cuarcitas, en algunos casos de rocas volcánicas, y en menor extensión están formados por depósitos de materiales detríticos gruesos y finos de la misma naturaleza litológica. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p. 36)

Son suelos desde muy superficiales a moderadamente profundos; de perfil A(B)C, AC, AR, con escasa a moderada capacidad de retención de humedad, de texturas ligera a medias, drenaje bueno a excesivo, de reacción fuertemente a ligeramente ácida, con pendiente desde inclinada a moderadamente empinada, se localizan en laderas de colina, montañas y piedemonte; son ligeramente pedregosos y presentan una erosión de moderada a severa. La fertilidad natural de estos suelos es desde baja a media; con niveles medios de materia orgánica, niveles bajos a medios en nitrógeno total, bajos a medios en fósforo, medios en potasio y saturación de bases baja a media. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p. 36)

***Cambisol - Regosol (B - R) (Cryaquepts - Ustorthents).*** Este grupo representa el 0,43% de las asociaciones y comprende una superficie de 3,96 km<sup>2</sup> siendo el 0,34% del área total de la subcuenca de estudio, que está distribuido en los distritos de Cutervo y

Querocotillo, de la provincia de Cutervo. Según Poma y Alcántara (2010-2011) estos suelos se encuentran ocupados con un paisaje dominante de tipo ondulado empinado. (p. 36)

**Características Generales.** Generalmente son de desarrollo *in situ*, a partir de rocas areniscas, cuarcitas, lutitas y calizas, excepcionalmente de rocas volcánicas, y en otros lugares están constituidos por suelos desarrollados a partir de materiales no consolidados de origen aluvio coluvial jóvenes, se encuentran localizados en terrazas medias o como deposiciones en laderas de colina, montañas y piedemonte, de materiales provenientes de la descomposición principalmente de rocas volcánicas, areniscas y cuarcitas. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p. 37)

Son suelos desde superficiales a moderadamente profundos, con perfil A(B)C, AC; la capacidad de retención de humedad está en función a la profundidad y textura de los horizontes, de texturas ligera a media, con drenaje bueno a excesivo, de reacción ligeramente a moderadamente ácida, con pendientes de inclinada a moderadamente empinada, son ligeramente pedregosos y con erosión moderada a severa. La fertilidad natural de estos suelos es baja a media; con niveles bajos a medios de materia orgánica, niveles medios de nitrógeno total, bajos a medios en fósforo, medios a altos en potasio y saturación de bases media. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p. 37)

**Fluvisol - Phaeozem (J - H) (Ustifluvents - Argiudolls).** Este grupo representa el 1,48% de las asociaciones y comprende una superficie de 13,78 km<sup>2</sup> siendo el 1,18% del área total de la subcuenca de estudio, que está distribuido en los distritos de Cochabamba, Huambos y Querocoto, de la provincia de Chota, y en el distrito de Cutervo de la provincia del mismo nombre. Según Poma y Alcántara (2010-2011) este suelo se encuentra ocupado con un paisaje generalmente de cultivos agrícolas, frutales y vegetación arbustiva (huarango, huayo y otras plantas de hábito xerófilo). (p. 37)

**Características Generales.** Proviene de la descomposición de sedimentos aluviales y coluviales transportados por las quebradas que desembocan en los ríos; se localizan en terrazas aluviales y planicies; son desde profundos a muy profundos, presentan un perfil A(B)C o AC, con una permeabilidad moderada a moderadamente lenta, de textura media a pesada, drenaje bueno a imperfecto, de reacción neutra a moderadamente alcalino, con pendientes de ligeramente inclinada a inclinada. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p. 37-38)

La fertilidad natural es de media a alta, con contenido medio de materia orgánica, las partes de suelo de tipo phaeozem son potencialmente ricos en nitrógeno; sin embargo, la pedregosidad puede impedir las labores de labranza. Potencialmente apropiados para una agricultura intensiva, teniendo en cuenta algunos factores limitantes. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p. 38)

**Kastanozem - Leptosol (K - L) (Calciustol - Humitropepts).** Este grupo representa el 17,02% de las asociaciones y comprende una superficie de 158,13 km<sup>2</sup> siendo el 13,55% del área total de estudio; por lo cual, es la tercera clasificación que ocupa una mayor extensión dentro de la subcuenca perteneciente al río Chotano; que está distribuida en los distritos de Cochabamba y Huambos, de la provincia de Chota, y en el distrito de Cutervo de la provincia del mismo nombre.

Según Poma y Alcántara (2010-2011) se caracteriza debido a que se puede encontrar porcentajes variables de grava y guijarros angulares y subangulares, asociados justamente a afloramientos rocosos, el cual disminuye su calidad y capacidad productiva. Este grupo por estar asociado a un suelo de tipo leptosol, se encuentran ocupados por vegetación arbustiva, pequeñas áreas de cultivo y afloramientos rocosos. (p. 38-39)

**Características Generales.** Son formados a partir de la descomposición de areniscas cuarzosas y sobre una secuencia de margas y calizas gris parduzcas, son suelos desde superficiales a muy superficiales, con perfil A(B)C, AB, AR, son de textura media, con un drenaje excesivo, reacción ligeramente a moderadamente alcalino; se localizan en planicies y laderas de colina, presentan una permeabilidad moderada. La fertilidad natural es media, con un contenido medio de materia orgánica, aptos para cultivos agrícolas de la zona, pero con limitaciones por la presencia de afloramientos rocosos. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p. 39)

**Leptosol - Regosol (L - R) (Humitropepts - Ustorthents).** Este grupo representa el 18,09% de las asociaciones y comprende una superficie de 167,99 km<sup>2</sup> siendo el 14,39% del área total de estudio; por lo cual, es la segunda clasificación que ocupa una mayor extensión dentro de la subcuenca perteneciente al río Chotano; que está distribuida en los distritos de Huambos y Querocoto, de la provincia de Chota, y en los distritos de Cutervo y Querocotillo, de la provincia de Cutervo.

Poma y Alcántara (2010-2011) señalan que, en la región de Cajamarca, en estos suelos el paisaje dominante es ondulado empinado y se encuentran ocupados por bosques naturales, vegetación arbustiva, pastos naturales y en algunos casos por cultivos agrícolas y permanentes. (p. 40)

**Características Generales.** Algunos de estos suelos presentan un desarrollo *in situ* a partir de rocas areniscas cuarzosas, lutitas y rocas volcánicas, otros son desarrollados a partir de depósitos de materiales detríticos gruesos derivados de estas mismas rocas. Son desde muy superficiales a superficiales, presenta un perfil AC, AR; se localiza en laderas de colina, montañas y piedemonte; de texturas de ligera a media, drenaje excesivo, con poca capacidad de retención de humedad, de reacción fuertemente a moderadamente ácida, existiendo suelos con reacción moderadamente alcalino, con pendientes de moderadamente empinada a

fuertemente empinada, con abundantes afloramientos rocosos y erosión de moderada a severa. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p. 40)

La fertilidad natural de estos suelos es baja; con niveles bajos de materia orgánica, niveles medios de nitrógeno total, medios en fósforo, medios altos en potasio y saturación de bases media. La aptitud de estos suelos es considerada como de protección, pudiendo utilizarse también para la producción de especies forestales, sobre todo en espacios que reúnen condiciones para este fin. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p. 40)

***Paramosol - Leptosol (PS - L) (Haplocryands - Humitropepts).*** Este grupo representa el 11,53% de las asociaciones y comprende una superficie de 107,13 km<sup>2</sup> siendo el 9,18% del área total de la subcuenca de estudio, que está distribuido en el distrito de Chota de la provincia del mismo nombre. Según Poma y Alcántara (2010-2011) son suelos que presentan afloramientos rocosos y se distribuyen en las partes altas, donde existen fuertes precipitaciones pluviales y bajas temperaturas; asimismo, se encuentran ocupados con pastos naturales. (p. 43)

***Características Generales.*** Son desarrollados a partir de materiales provenientes de la descomposición de areniscas, cuarcitas y calizas en grandes depósitos fluvioglaciales en un medio lluvioso y frío; se encuentran asociados con grandes afloramientos rocosos, localizándose en laderas de colina y en montañas, presenta una permeabilidad moderada; son suelos desde muy superficiales a moderadamente profundos, de textura media a moderadamente gruesa, con drenaje bueno a excesivo, de reacción fuertemente ácido; por estar asociado a un leptosol se ubica en una pendiente moderadamente empinada a fuertemente empinada. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p. 44)

La fertilidad natural es de media a baja, pero debido a que la actividad microbiana es baja, presenta un alto contenido de materia orgánica tipo turba. La aptitud de estos suelos para propósitos agrícolas es nula debido a las condiciones climáticas muy rigurosas, quedando relegadas a sustentar pastos naturales que permiten una actividad pecuaria extensiva. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p. 44)

*Phaeozem - Leptosol (H - L) (Argiudolls - Humitropepts)*. Este grupo representa el 28,07% de las asociaciones y comprende una superficie de 260,71 km<sup>2</sup> siendo el 22,33% del área total de estudio; por lo cual, es la clasificación que ocupa la mayor superficie dentro de la subcuenca perteneciente al río Chotano; que está distribuida en los distritos de Chota, Cochabamba y Lajas, de la provincia de Chota, y en el distrito de Cutervo de la provincia del mismo nombre. Según Poma y Alcántara (2010-2011) estos suelos se encuentran ocupados en su mayoría por cultivos agrícolas y en menor proporción por cobertura forestal y pastos; teniendo como limitante la presencia de afloramientos rocosos. (p. 45)

**Características Generales.** Proviene de la descomposición de rocas calizas, areniscas y margas, presentan un perfil A(B)C, o AB o AR; se localizan en laderas de colina, montañas y piedemonte; son de superficiales a moderadamente profundos, con permeabilidad moderada a moderadamente rápida, textura media a moderadamente gruesa, drenaje bueno a excesivo, reacción moderadamente ácido a moderadamente alcalino, con pendiente fuertemente inclinada a fuertemente empinada. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p. 45)

La fertilidad natural es baja a media, con contenido bajo a medio de materia orgánica. Su aptitud se orienta a una agricultura diversificada, en zonas donde no hay afloramientos rocosos pueden utilizarse para plantaciones forestales. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p. 45)

**Regosol - Xerosol (R - X) (Ustorthents - Aridisolls).** Este grupo representa el 5,60% de las asociaciones y abarca una superficie de 52,02 km<sup>2</sup> siendo el 4,46% del área total de la subcuenca de estudio, que está distribuido en los distritos de Cutervo y Querocotillo, de la provincia de Cutervo. Según Poma y Alcántara (2010-2011) el paisaje dominante es ondulado, se encuentran ocupados en su mayoría por vegetación arbustiva y escasa vegetación. (p. 47)

**Características Generales.** Son poco desarrollados, constituidos por depósitos de materiales detríticos gruesos derivados de rocas areniscas cuarzosas, lutitas, margas y calizas. Son suelos superficiales a muy superficiales, presentan un perfil A(B)C o AC o AR; se localizan en laderas de colina y piedemonte, tienen una permeabilidad moderada a moderadamente rápida, son de texturas ligeras a medias, drenaje excesivo a algo excesivo, con poca capacidad de retención de humedad, de reacción moderadamente ácida a moderadamente alcalino, ligeramente pedregosos y erosión severa. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p. 47)

Generalmente el clima en estos suelos es bastante drástico por ser muy seco con temperaturas elevadas donde casi todo el año reseca el terreno generando ciertas características de aridez. La fertilidad natural de estos suelos es de baja a medio; con niveles bajos a medios en materia orgánica, niveles bajos en nitrógeno total, niveles bajos a medios en fósforo, bajos a medios en potasio y saturación de bases media. Su aptitud se orienta a la instalación de cultivos agrícolas propios de la zona, teniendo en cuenta el factor limitante que es la escasez de agua; asimismo, pueden establecerse plantaciones forestales. (Poma y Alcántara, 2010-2011, p. 47)

Tabla 43

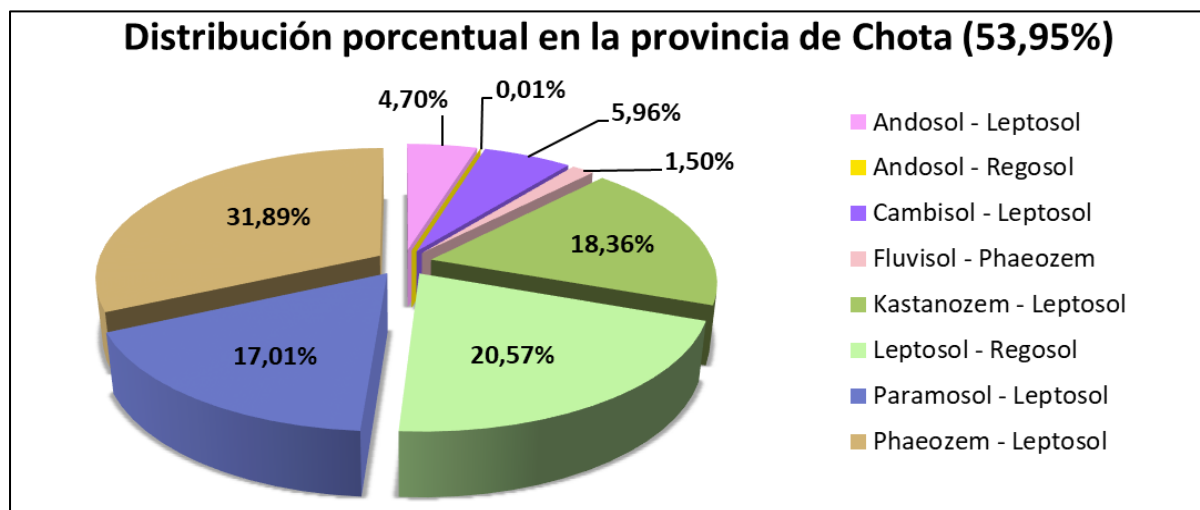
Distribución de grandes grupos de suelos para la provincia de Chota - Asociaciones.

Simbología	Provincia de Chota						Asociaciones (%)	Porcentaje de la subcuenca (%)
	Área por distrito (Km <sup>2</sup> )					Total		
	Chota	Cochabamba	Huambos	Lajas	Quero-coto			
T - L	0,00	11,01	18,60	0,00	0,01	29,62	4,70	2,54
T - R	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,08	0,01	0,01
B - L	11,30	3,79	0,00	22,41	0,00	37,50	5,96	3,21
J - H	0,00	5,09	1,42	0,00	2,95	9,46	1,50	0,81
K - L	0,00	65,26	50,35	0,00	0,00	115,61	18,36	9,91
L - R	0,00	0,00	66,97	0,00	62,54	129,51	20,57	11,09
PS - L	59,68	0,00	0,00	47,45	0,00	107,13	17,01	9,18
H - L	141,85	25,10	0,00	33,86	0,00	200,81	31,89	17,20
<b>Total</b>	<b>212,83</b>	<b>110,25</b>	<b>137,34</b>	<b>103,72</b>	<b>65,58</b>	<b>629,72</b>	<b>100,00</b>	<b>53,95</b>

Nota. La distribución de los grupos de suelos en Asociaciones para la provincia de Chota cubre una superficie de 629,72 km<sup>2</sup> siendo el 53,95% de la subcuenca de estudio. La descripción de la simbología para cada tipo de suelo se detalla en la *Tabla 38*.

Figura 26

Distribución porcentual de suelos (Asociaciones) que abarca la subcuenca de estudio en la provincia de Chota.





**Tabla 44**

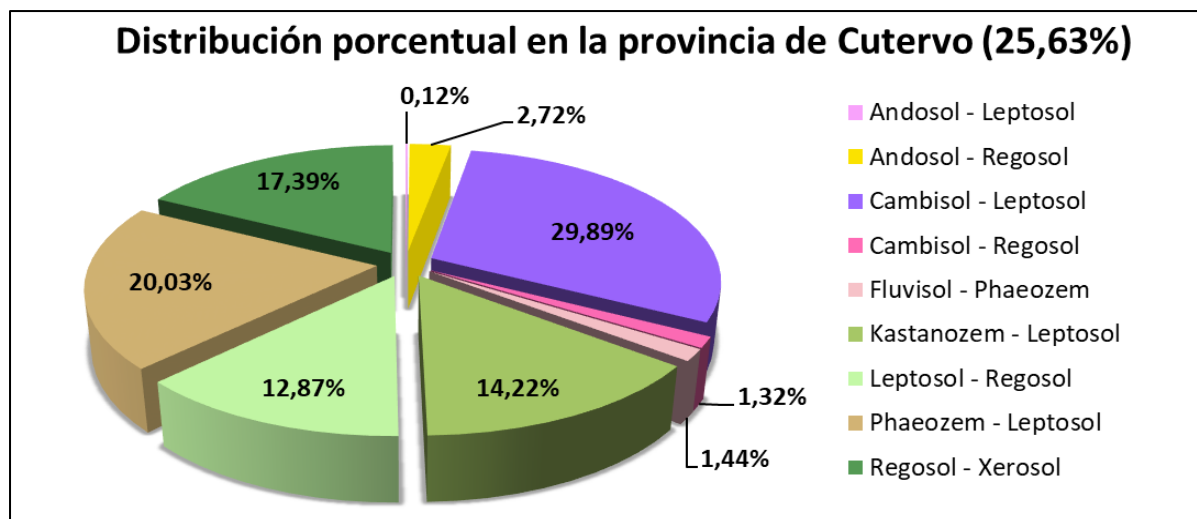
*Distribución de grandes grupos de suelos para la provincia de Cutervo - Asociaciones.*

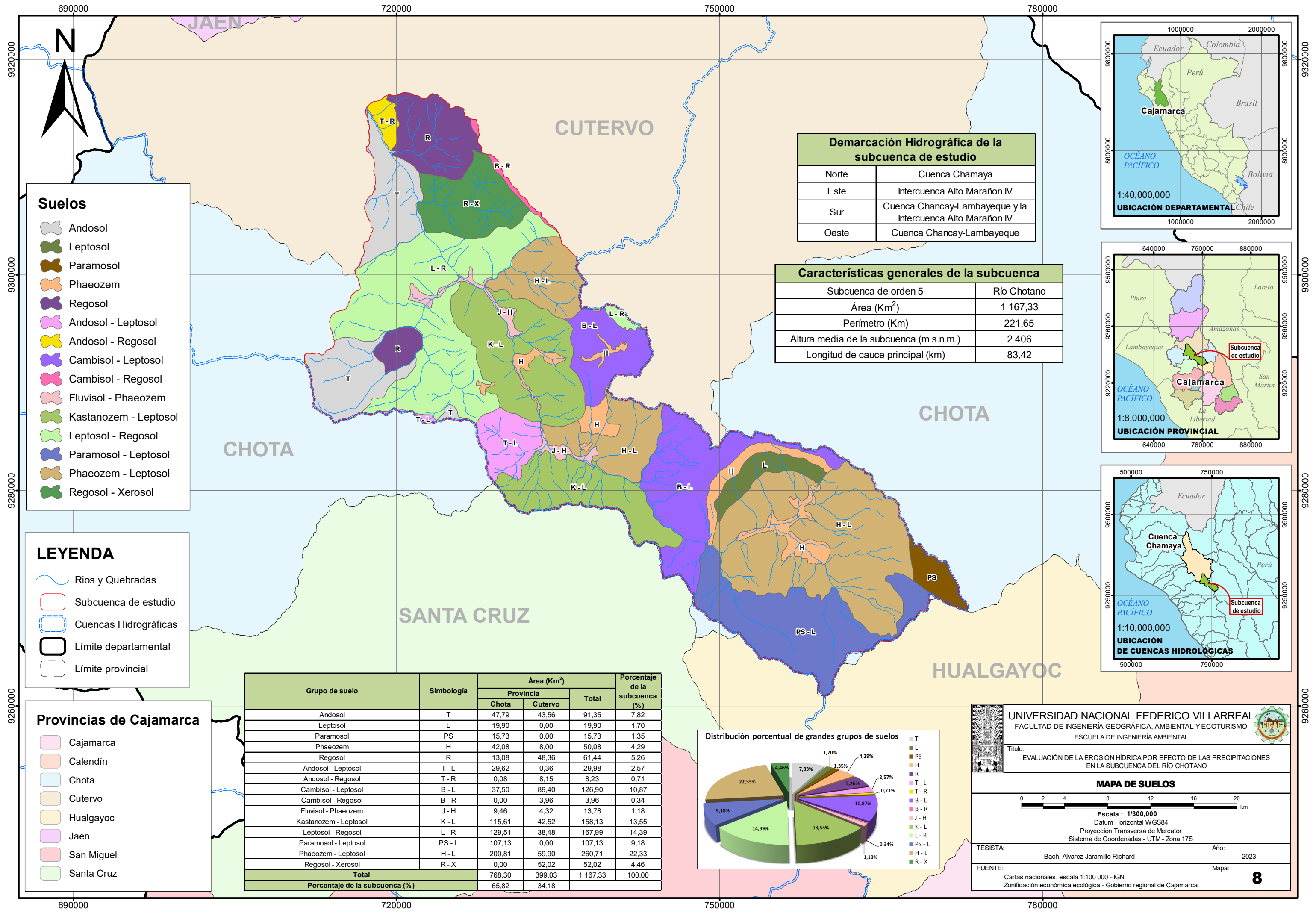
Simbología	Provincia de Cutervo			Asociaciones (%)	Porcentaje de la subcuena (%)
	Área por distrito (Km <sup>2</sup> )				
	Cutervo	Querocotillo	Total		
<b>T - L</b>	0,00	0,36	0,36	0,12	0,03
<b>T - R</b>	0,00	8,15	8,15	2,72	0,70
<b>B - L</b>	89,40	0,00	89,40	29,89	7,66
<b>B - R</b>	0,79	3,17	3,96	1,32	0,34
<b>J - H</b>	4,32	0,00	4,32	1,44	0,37
<b>K - L</b>	42,52	0,00	42,52	14,22	3,64
<b>L - R</b>	37,95	0,53	38,48	12,87	3,30
<b>H - L</b>	59,90	0,00	59,90	20,03	5,13
<b>R - X</b>	22,77	29,25	52,02	17,39	4,46
<b>Total</b>	257,65	41,46	299,11	100,00	25,63

Nota. La distribución de los grupos de suelos en Asociaciones para la provincia de Cutervo cubre una superficie de 299,11 km<sup>2</sup> siendo el 25,63% de la subcuena de estudio. La descripción de la simbología para cada tipo de suelo se detalla en la *Tabla 38*.

**Figura 27**

*Distribución porcentual de suelos (Asociaciones) que abarca la subcuena de estudio en la provincia de Cutervo.*





**Suelos**

- Andosol
- Leptosol
- Paramosol
- Phaeozem
- Regosol
- Andosol - Leptosol
- Andosol - Regosol
- Cambisol - Leptosol
- Cambisol - Regosol
- Fluvisol - Phaeozem
- Kastanozem - Leptosol
- Leptosol - Regosol
- Paramosol - Leptosol
- Phaeozem - Leptosol
- Regosol - Xerosol

**LEYENDA**

- Rios y Quebradas
- Subcuenca de estudio
- Cuencas Hidrográficas
- Límite departamental
- Límite provincial

**Provincias de Cajamarca**

- Cajamarca
- Calendín
- Chota
- Cutervo
- Hualgayoc
- Jaen
- San Miguel
- Santa Cruz

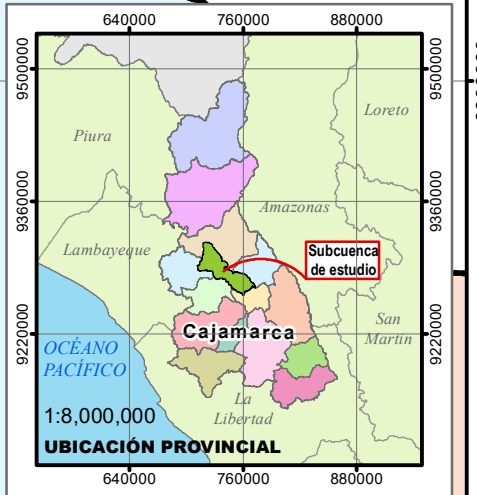
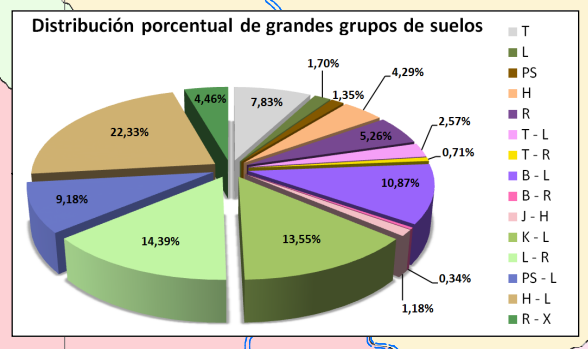
**Demarcación Hidrográfica de la subcuenca de estudio**

Norte	Cuenca Chamaya
Este	Intercuenca Alto Marañón IV
Sur	Cuenca Chancay-Lambayeque y la Intercuenca Alto Marañón IV
Oeste	Cuenca Chancay-Lambayeque

**Características generales de la subcuenca**

Subcuenca de orden 5	Río Chotano
Área (Km <sup>2</sup> )	1 167,33
Perímetro (Km)	221,65
Altura media de la subcuenca (m s.n.m.)	2 406
Longitud de cauce principal (km)	83,42

Grupo de suelo	Simbología	Área (Km <sup>2</sup> )		Porcentaje de la subcuenca (%)
		Provincia	Total	
		Chota	Cutervo	
Andosol	T	47,79	43,56	91,35
Leptosol	L	19,90	0,00	19,90
Paramosol	PS	15,73	0,00	15,73
Phaeozem	H	42,08	8,00	50,08
Regosol	R	13,08	48,36	61,44
Andosol - Leptosol	T - L	29,62	0,36	29,98
Andosol - Regosol	T - R	0,08	8,15	8,23
Cambisol - Leptosol	B - L	37,50	89,40	126,90
Cambisol - Regosol	B - R	0,00	3,96	3,96
Fluvisol - Phaeozem	J - H	9,46	4,32	13,78
Kastanozem - Leptosol	K - L	115,61	42,52	158,13
Leptosol - Regosol	L - R	129,51	38,48	167,99
Paramosol - Leptosol	PS - L	107,13	0,00	107,13
Phaeozem - Leptosol	H - L	200,81	59,90	260,71
Regosol - Xerosol	R - X	0,00	52,02	52,02
<b>Total</b>		<b>768,30</b>	<b>399,03</b>	<b>1 167,33</b>
<b>Porcentaje de la subcuenca (%)</b>		<b>65,82</b>	<b>34,18</b>	<b>100,00</b>



**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Título:  
 EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR EFECTO DE LAS PRECIPITACIONES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHOTANO

**MAPA DE SUELOS**

Escala : 1/300,000  
 Datum Horizontal WGS84  
 Proyección Transversa de Mercator  
 Sistema de Coordenadas - UTM - Zona 17S

TESISTA: Bach. Alvarez Jaramillo Richard Año: 2023

FUENTE: Cartas nacionales, escala 1:100 000 - IGN  
 Zonificación económica ecológica - Gobierno regional de Cajamarca Mapa: **8**

### 3.2.10. Pendiente

Es el grado de inclinación del relieve de los terrenos y se define como el ángulo formado por dos lados. Otra forma conocida de expresar la pendiente es en porcentajes, expresado en base a la relación del número de metros que tiene el desnivel de un terreno cuando se avanza 100 m desde el lado o punto inicial. (Alcántara, 2010-2011, p. 8)

La pendiente es un parámetro que influye en la formación de los suelos y condiciona el proceso erosivo, mientras más pronunciada sea la pendiente, mayor será la velocidad del agua de escorrentía, y por ende, mayor el arrastre de sedimentos y erosión causada por la precipitación. (Beláustegui, 1999, citado por Alcántara, 2010-2011, p. 8)

**3.2.10.1. Clasificación de los rangos de pendiente.** En la ZEE realizada por el Gobierno Regional de Cajamarca se establecen los rangos de pendiente para la región, tomando como referencia el Reglamento de Clasificación de Tierras D.S. N° 017-2009-AG, donde se propone 7 rangos para pendientes cortas; asimismo, utiliza la Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM), Zona 17 sur y el Datum WGS-84 para su elaboración.

**Tabla 45**

*Rangos de pendiente.*

<b>Rangos de Pendiente (%)</b>	<b>Descripción</b>
0 - 4	Nula o casi a nivel
4 - 8	Ligeramente inclinada
8 - 15	Ligeramente inclinada a moderadamente empinada
15 - 25	Moderadamente empinada
25 - 50	Empinada
50 - 75	Muy empinada
> 75	Extremadamente empinada

Nota. Tomado de *Pendiente de los suelos del departamento de Cajamarca*, de Alcántara; 2010-2011, p. 15.

**3.2.10.2. Superficie y distribución para cada rango de pendientes.** A continuación, se detalla cada distribución de rango de pendiente identificadas en la subcuenca de estudio:

**Tabla 46**

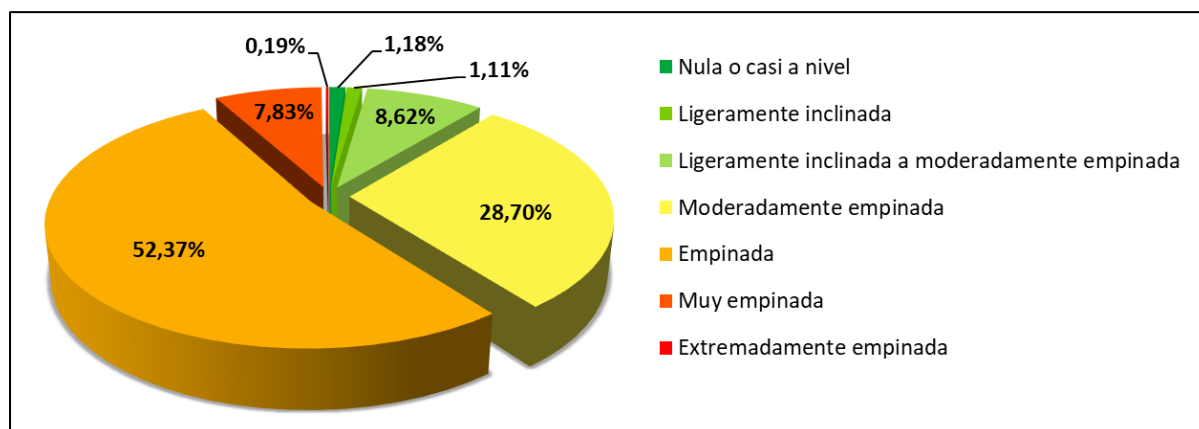
*Distribución de rangos de pendiente en la subcuenca de estudio.*

Tipo de Pendiente	Rango (%)	Área (Km <sup>2</sup> )			Porcentaje de la subcuenca (%)
		Provincia		Total	
		Chota	Cutervo		
Nula o casi a nivel	0 - 4	10,25	3,55	13,80	1,18
Ligeramente inclinada	4 - 8	10,14	2,78	12,92	1,11
Ligeramente inclinada a moderadamente empinada	8 - 15	91,67	8,95	100,62	8,62
Moderadamente empinada	15 - 25	266,07	69,01	335,08	28,70
Empinada	25 - 50	355,38	255,92	611,30	52,37
Muy empinada	50 - 75	34,79	56,56	91,35	7,83
Extremadamente empinada	> 75	0,00	2,26	2,26	0,19
<b>Total</b>		768,30	399,03	1 167,33	100,00
<b>Porcentaje de la subcuenca (%)</b>		65,82	34,18		

Nota. El 52,37% del territorio de la subcuenca del río Chotano, equivalente a una superficie de 611,30 km<sup>2</sup>, presenta suelos con una pendiente empinada de 25% a 50%, mientras que solo el 0,19% de la subcuenca de estudio presenta suelos con pendiente extremadamente empinada mayor a 75%.

**Figura 28**

*Distribución porcentual de pendientes en la subcuenca de estudio.*



**Distribución de pendientes en la provincia de Chota.** Para la provincia de Chota, la subcuenca de estudio abarca parte del territorio de cinco distritos pertenecientes a esta: Chota, Cochabamba, Huambos, Lajas y Querocoto; sumando un área total de 768,30 km<sup>2</sup> (65,82% de la subcuenca) en cuya superficie predominan suelos con pendientes empinadas con un área de 355,38 km<sup>2</sup> equivalente al 30,45% de la subcuenca de estudio; seguido por los suelos con pendientes moderadamente empinadas con un área de 266,07 km<sup>2</sup> (22,79% de la subcuenca); los cuales están distribuidos en todos los distritos de dicha provincia.

Los suelos con pendientes de ligeramente inclinadas a moderadamente empinadas que abarcan un área de 91,67 km<sup>2</sup> (7,85% de la subcuenca) y los suelos con pendientes muy empinadas que cubren un área de 34,79 km<sup>2</sup> (2,98% de la subcuenca) se encuentran distribuidos en menor proporción en todos los distritos de Chota que abarca la subcuenca del río Chotano.

Los suelos con pendientes nulas o casi a nivel que ocupan una superficie de 10,25 km<sup>2</sup> (0,88% de la subcuenca) y los suelos con pendientes ligeramente inclinadas con un área de 10,14 km<sup>2</sup> (0,87% de la subcuenca), representan las dos clasificaciones con menor extensión dentro de la subcuenca del río Chotano, ocupando los suelos del sur de Chota, en solo los distritos de Chota, Cochabamba y Lajas.

**Tabla 47**

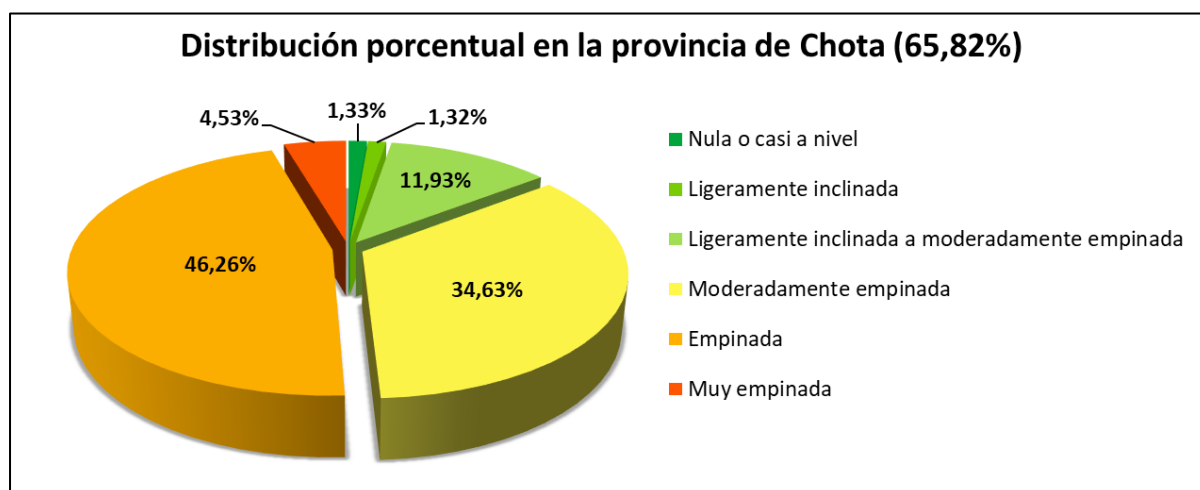
*Distribución de rangos de pendiente de la subcuenca de estudio para la provincia de Chota.*

Rango de pendiente (%)	Provincia de Chota						Porcentaje de la subcuenca (%)	
	Área por distrito (Km <sup>2</sup> )							
	Chota	Cochabamba	Huambos	Lajas	Querocoto	Total		
<b>0 - 4</b>	8,89	0,68	0,00	0,68	0,00	10,25	1,33	0,88
<b>4 - 8</b>	8,82	0,59	0,00	0,73	0,00	10,14	1,32	0,87
<b>8 - 15</b>	69,72	1,71	1,20	18,24	0,80	91,67	11,93	7,85

Rango de pendiente (%)	Provincia de Chota						Porcentaje de la subcuenca (%)
	Área por distrito (Km <sup>2</sup> )						
	Chota	Cochabamba	Huambos	Lajas	Quero-coto	Total	
15 - 25	133,66	28,94	26,71	53,50	23,26	266,07	34,63
25 - 50	46,31	78,23	110,29	41,51	79,04	355,38	46,26
50 - 75	0,30	8,85	10,32	1,94	13,38	34,79	4,53
<b>Total</b>	267,70	119,00	148,52	116,60	116,48	768,30	100,00

**Figura 29**

*Distribución porcentual de pendientes que abarca la subcuenca de estudio en la provincia de Chota.*



Nota. En la provincia de Chota que abarca la subcuenca de estudio, predominan los suelos con pendiente empinada (25% - 50%), ocupando la mayor extensión con una superficie de 355,38 km<sup>2</sup> equivalente al 30,45% del área total de la subcuenca perteneciente al río Chotano.

**Distribución de pendientes en la provincia de Cutervo.** Para la provincia de Cutervo, la subcuenca del río Chotano abarca parte del territorio de dos distritos pertenecientes a esta: Cutervo y Querocotillo; sumando un área total de 399,03 km<sup>2</sup> (34,18% de la subcuenca), en cuya superficie predominan suelos con pendientes empinadas en un área de 255,92 km<sup>2</sup>,

equivalente al 21,92% de la subcuenca de estudio; seguido por los suelos con pendientes moderadamente empinadas en un área de 69,01 km<sup>2</sup> (5,91% de la subcuenca); los cuales están distribuidos en todos los distritos de dicha provincia.

Los suelos con pendientes de ligeramente inclinadas a moderadamente empinadas que abarcan un área de 8,95 km<sup>2</sup> (0,77% de la subcuenca) y los suelos con pendientes muy empinadas que cubren un área 56,56 km<sup>2</sup> (4,85% de la subcuenca) se encuentran distribuidos en menor proporción en todos los distritos de Cutervo que abarca la subcuenca del río Chotano.

Los suelos con pendientes nulas o casi a nivel que ocupan una superficie de 3,55 km<sup>2</sup> (0,30% de la subcuenca) y los suelos con pendientes ligeramente inclinadas con un área de 2,78 km<sup>2</sup> (0,24% de la subcuenca), representan las dos clasificaciones con menor extensión dentro de la subcuenca del río Chotano, ocupando los suelos del sur de la provincia de Cutervo, distribuyéndose solo en el distrito del mismo nombre.

Los suelos con pendientes extremadamente empinadas ocupan un área de 2,26 km<sup>2</sup> (0,19% de la subcuenca), ocupando las cumbres altas en Cutervo, distribuyéndose en los distritos de Cutervo y Querocotillo.

**Tabla 48**

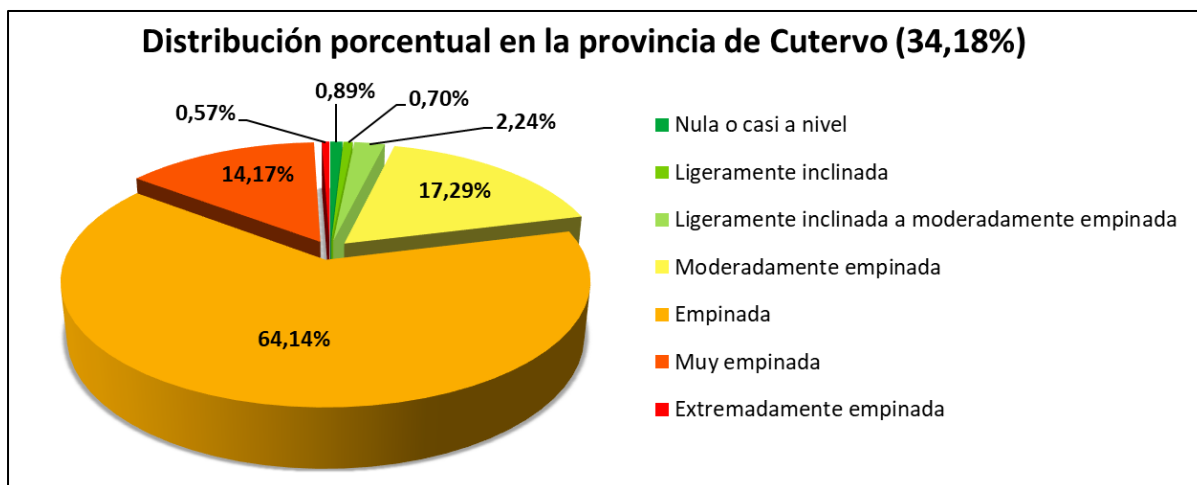
*Distribución de rangos de pendiente de la subcuenca para la provincia de Cutervo.*

Rango de pendiente (%)	Provincia de Cutervo			Porcentaje de la subcuenca (%)
	Área por distrito (Km <sup>2</sup> )			
	Cutervo	Querocotillo	Total	
0 - 4	3,55	0,00	3,55	0,89
4 - 8	2,78	0,00	2,78	0,70
8 - 15	7,88	1,07	8,95	2,24
15 - 25	49,37	19,64	69,01	17,29

Rango de pendiente (%)	Provincia de Cutervo			Porcentaje de la subcuenca (%)
	Área por distrito (Km <sup>2</sup> )			
	Cutervo	Querocotillo	Total	
25 - 50	174,33	81,59	255,92	64,14
50 - 75	27,20	29,36	56,56	14,17
> 75	0,98	1,28	2,26	0,57
<b>Total</b>	266,09	132,94	399,03	100,00

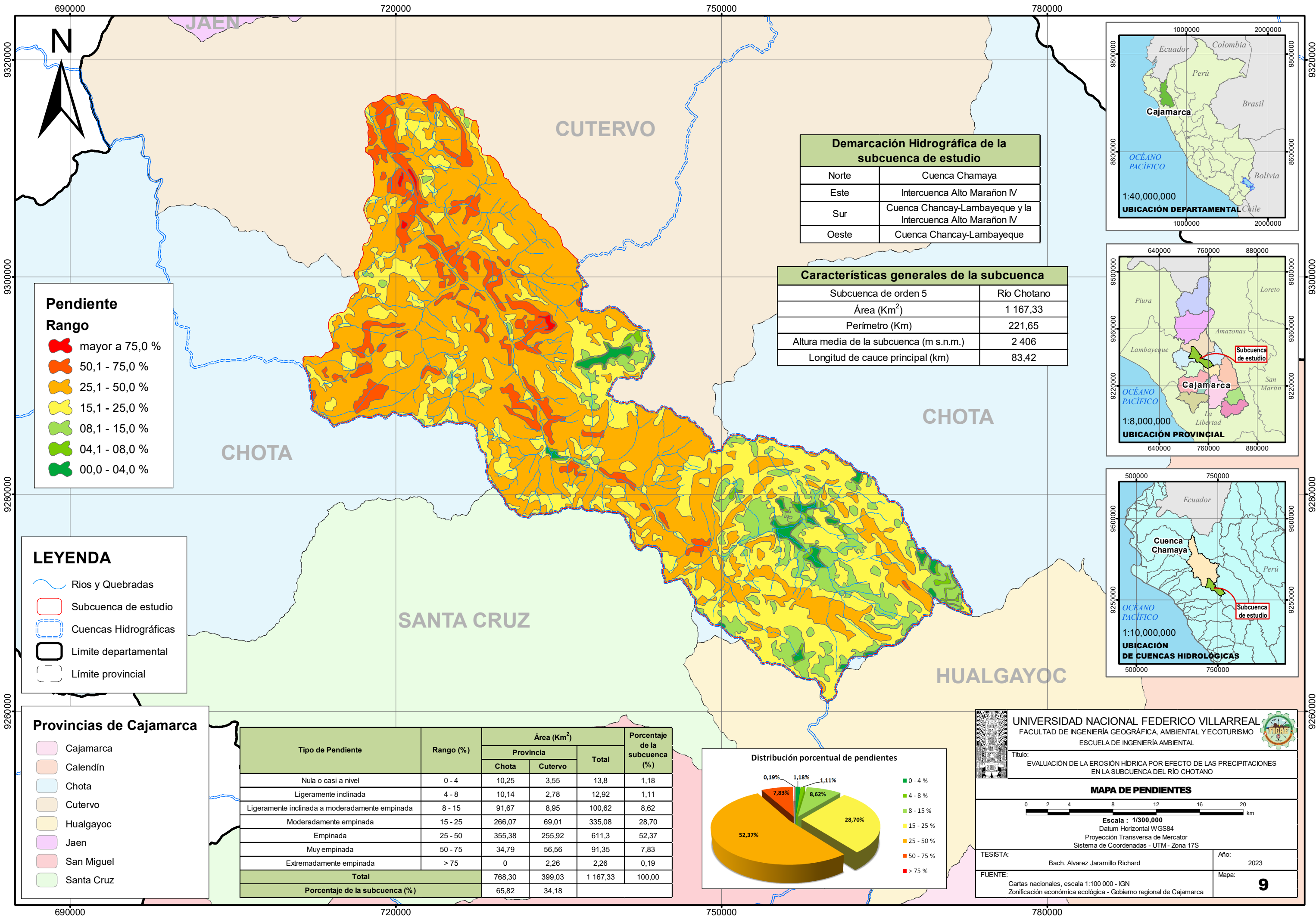
**Figura 30**

*Distribución porcentual de pendientes que abarca la subcuenca de estudio en la provincia de Cutervo.*



Nota. En la provincia de Cutervo que abarca la subcuenca de estudio, predomina la pendiente empinada (25% - 50%), ocupando la mayor extensión con una superficie de 255,92 km<sup>2</sup> equivalente al 21,92% del área total de la subcuenca perteneciente al río Chotano.





**Pendiente Rango**

	mayor a 75,0 %
	50,1 - 75,0 %
	25,1 - 50,0 %
	15,1 - 25,0 %
	08,1 - 15,0 %
	04,1 - 08,0 %
	00,0 - 04,0 %

**LEYENDA**

- Rios y Quebradas
- Subcuenca de estudio
- Cuencas Hidrográficas
- Límite departamental
- Límite provincial

**Provincias de Cajamarca**

- Cajamarca
- Calendín
- Chota
- Cutervo
- Hualgayoc
- Jaen
- San Miguel
- Santa Cruz

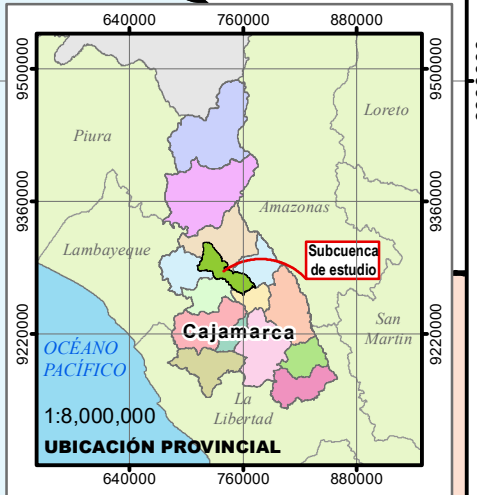
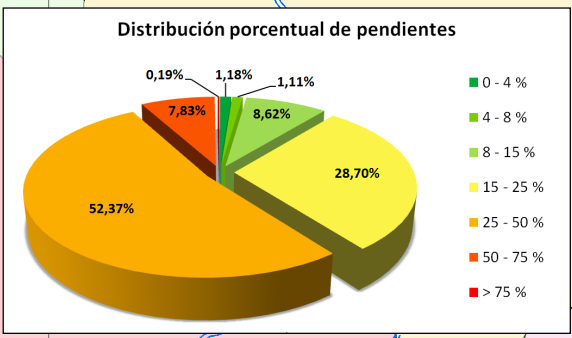
Tipo de Pendiente	Rango (%)	Área (Km <sup>2</sup> )			Porcentaje de la subcuenca (%)
		Provincia		Total	
		Chota	Cutervo		
Nula o casi a nivel	0 - 4	10,25	3,55	13,8	1,18
Ligeramente inclinada	4 - 8	10,14	2,78	12,92	1,11
Ligeramente inclinada a moderadamente empinada	8 - 15	91,67	8,95	100,62	8,62
Moderadamente empinada	15 - 25	266,07	69,01	335,08	28,70
Empinada	25 - 50	355,38	255,92	611,3	52,37
Muy empinada	50 - 75	34,79	56,56	91,35	7,83
Extremadamente empinada	> 75	0	2,26	2,26	0,19
<b>Total</b>		<b>768,30</b>	<b>399,03</b>	<b>1 167,33</b>	<b>100,00</b>
<b>Porcentaje de la subcuenca (%)</b>		<b>65,82</b>	<b>34,18</b>		

**Demarcación Hidrográfica de la subcuenca de estudio**

Norte	Cuenca Chamaya
Este	Intercuenca Alto Marañón IV
Sur	Cuenca Chancay-Lambayeque y la Intercuenca Alto Marañón IV
Oeste	Cuenca Chancay-Lambayeque

**Características generales de la subcuenca**

Subcuenca de orden 5	Río Chotano
Área (Km <sup>2</sup> )	1 167,33
Perímetro (Km)	221,65
Altura media de la subcuenca (m s.n.m.)	2 406
Longitud de cauce principal (km)	83,42



**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Título: **EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR EFECTO DE LAS PRECIPITACIONES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHOTANO**

**MAPA DE PENDIENTES**

Escala : 1/300,000  
 Datum Horizontal WGS84  
 Proyección Transversa de Mercator  
 Sistema de Coordenadas - UTM - Zona 17S

TESISTA: Bach. Alvarez Jaramillo Richard Año: 2023

FUENTE: Cartas nacionales, escala 1:100 000 - IGN  
 Zonificación económica ecológica - Gobierno regional de Cajamarca Mapa: **9**

### 3.2.11. Amenazas ambientales en la subcuenca

**3.2.11.1. Proceso de desertificación.** Los suelos en la región cada vez son más vulnerables frente a la intervención de diversos factores adversos de tipo naturales y especialmente antrópicos que, debido al incremento de la población genera asentamientos poblacionales muy fuertes a lo largo del departamento de Cajamarca con ingresos masivos a las áreas montañosas con bosque natural, ocasionando fuertes problemas de degradación y generando problemas muy serios de deforestación y sobrepastoreo que acompañado de un fuerte fenómeno erosivo, avizoran una clara tendencia a la desertificación de los suelos; el impacto no solo es ambiental, en mayor parte, también es del tipo social, porque refleja un incremento acelerado de la pobreza y porque a su vez propicia conflictos sobre los recursos naturales, especialmente por el recurso hídrico. (Alcántara, 2010, párrafo 1)

Con la información del mapa de desertificación del ordenamiento territorial de la ZEE realizada por el Gobierno Regional de Cajamarca, se identificaron tres de las cuatro categorías descritas en su estudio (Ligero, moderado, fuerte y severo) dentro de la subcuenca del río Chotano.

**Tabla 49**

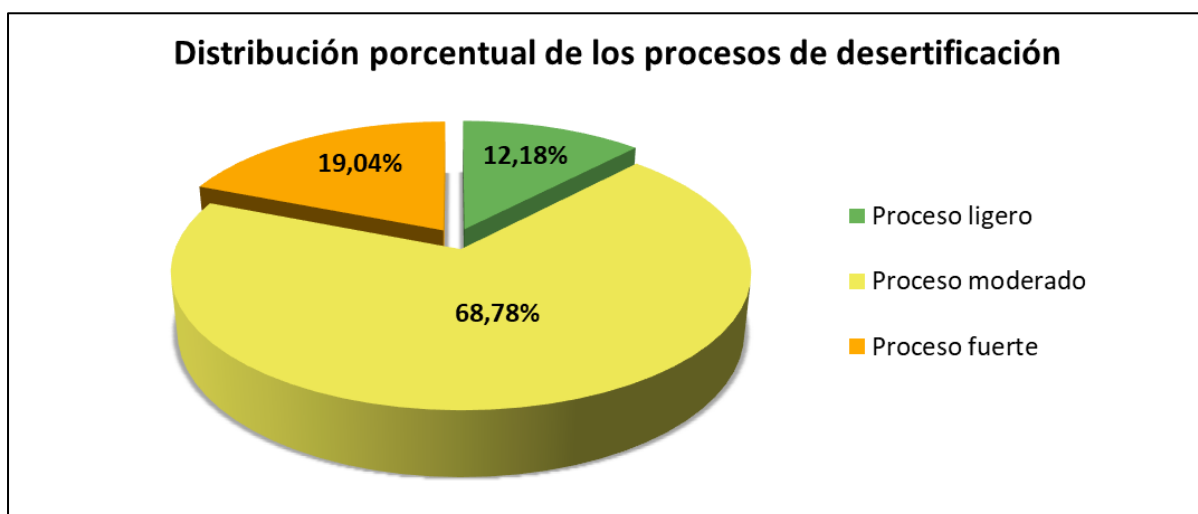
*Distribución de los procesos de desertificación en la subcuenca del río chotano.*

Proceso de desertificación	Simbología	Área (Km <sup>2</sup> )			Porcentaje de la subcuenca (%)
		Provincia		Total	
		Chota	Cutervo		
<b>Proceso ligero</b>	PDL	120,20	22,00	142,20	12,18
<b>Proceso moderado</b>	PDM	551,42	251,49	802,91	68,78
<b>Proceso fuerte</b>	PDF	96,68	125,54	222,22	19,04
<b>Total</b>		768,30	399,03	1 167,33	100,00
<b>Porcentaje de la subcuenca (%)</b>		65,82	34,18		

Nota. Simbología tomada de *Sub modelo de desertificación* [Mapa], por el Gobierno Regional de Cajamarca, 2012.

**Figura 31**

*Distribución porcentual de los procesos de desertificación en la subcuenca del río Chotano.*



Nota. La subcuenca del río Chotano tiene un proceso moderado de desertificación en el 68,78% del área y un proceso fuerte en el 19,04%, determinando que el 87,82% del área de la subcuenca de estudio se encuentra en un estado de desertificación de moderado a fuerte.

Alcántara (2010) señala que, el territorio que se encuentra en proceso ligero de desertificación corresponde a lugares de zonas altas, donde las temperaturas son bajas y están mayormente cubiertas por pastos naturales cuyas actividades humanas se vienen intensificando, por lo cual es necesario formular medidas orientadas al uso racional y sostenible de estos espacios. (conclusiones, párrafo 4)

El territorio de Cajamarca que se encuentra en proceso moderado de desertificación ocupa algunas áreas donde se realiza la agricultura; pero la mayor parte corresponde a espacios con bosques naturales y cultivados, donde la actividad humana también es fuerte. (Alcántara, 2010, conclusiones, párrafo 3).

Finalmente, el territorio en proceso fuerte de desertificación se ubica en lugares donde se practica la agricultura intensiva con tecnología tradicional y en suelos con pendientes pronunciadas; sin tener en cuenta las medidas adecuadas para la conservación de los recursos naturales, especialmente del suelo. (Alcántara, 2010, conclusiones, párrafo 2)

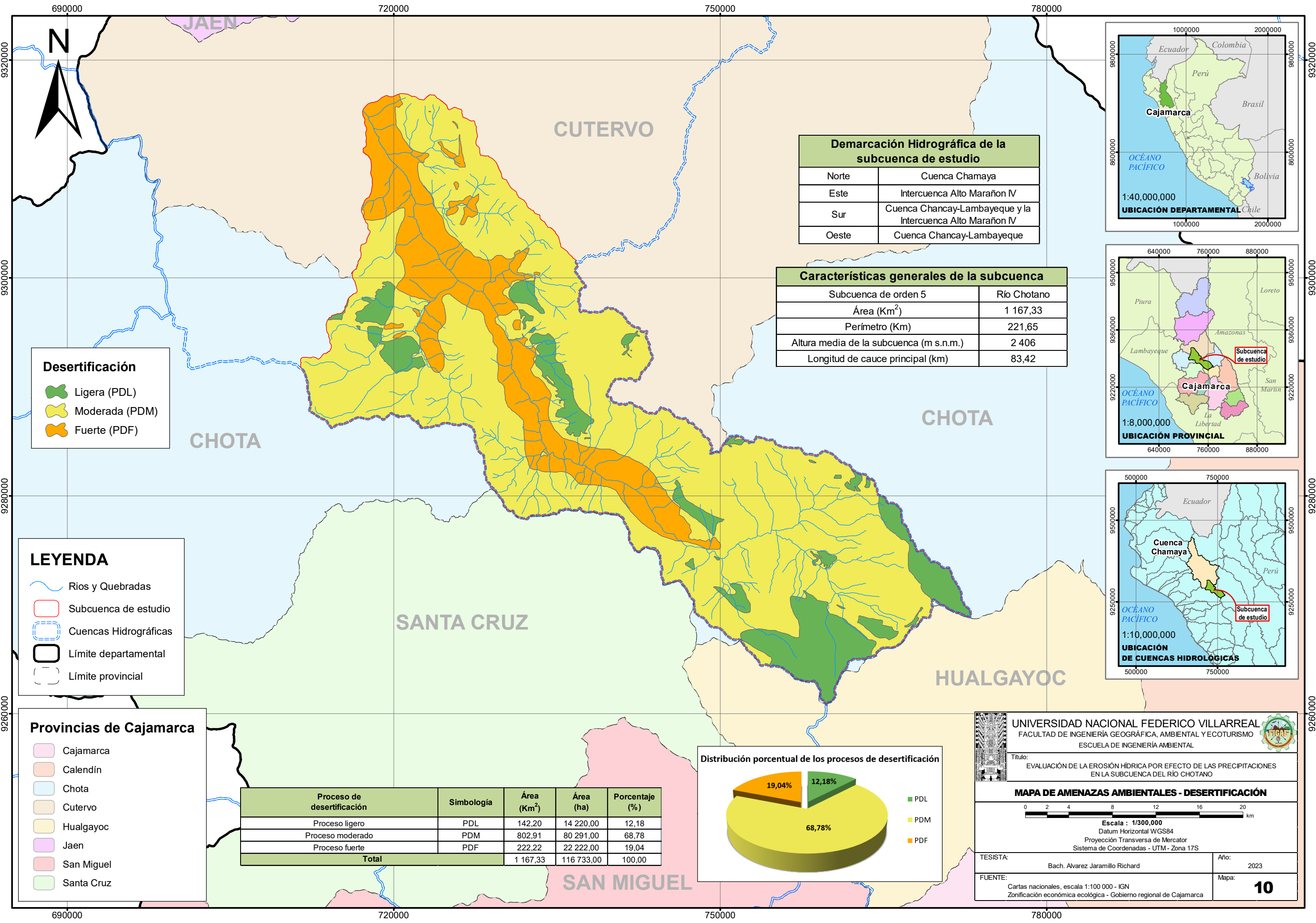
**3.2.11.2. Peligro de pérdida de suelos.** Con la información del mapa sobre el peligro de pérdida de suelos del ordenamiento territorial de la ZEE realizada por el Gobierno Regional de Cajamarca, se identificaron tres de las cuatro categorías descritas en su estudio (bajo, medio, alto y muy alto) dentro de la subcuenca del río Chotano. Asimismo, para conocer el porcentaje y superficie que abarca cada distribución en la subcuenca, se calcularon sus respectivas áreas, las cuales se detallan a continuación:

**Tabla 50**

*Distribución de la intensidad de peligro de pérdida de suelos en la subcuenca de estudio.*

Descripción	Simbología	Área (Km <sup>2</sup> )			Porcentaje de la subcuenca (%)
		Provincia		Total	
		Chota	Cutervo		
<b>Peligro bajo de pérdida de suelos</b>	PBPS	0,49	0,49	0,98	0,08
<b>Peligro alto de pérdida de suelos</b>	PAPS	577,20	323,37	900,57	77,15
<b>Peligro muy alto de pérdida de suelos</b>	PMAPS	190,61	75,17	265,78	22,77
<b>Total</b>		768,30	399,03	1 167,33	100,00
<b>Porcentaje de la subcuenca (%)</b>		65,82	34,18		

Nota. Simbología tomada de *Pérdida de suelos* [Mapa], por el Gobierno Regional de Cajamarca, 2012.



**Desertificación**

- Ligera (PDL)
- Moderada (PDM)
- Fuerte (PDF)

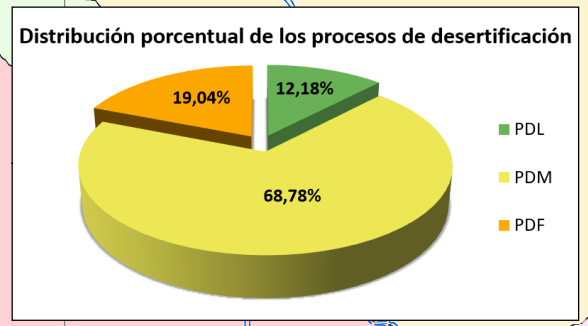
**LEYENDA**

- Rios y Quebradas
- Subcuenca de estudio
- Cuencas Hidrográficas
- Límite departamental
- Límite provincial

**Provincias de Cajamarca**

- Cajamarca
- Calendín
- Chota
- Cutervo
- Hualgayoc
- Jaen
- San Miguel
- Santa Cruz

Proceso de desertificación	Simbología	Área (Km <sup>2</sup> )	Área (ha)	Porcentaje (%)
Proceso ligero	PDL	142,20	14 220,00	12,18
Proceso moderado	PDM	802,91	80 291,00	68,78
Proceso fuerte	PDF	222,22	22 222,00	19,04
<b>Total</b>		<b>1 167,33</b>	<b>116 733,00</b>	<b>100,00</b>

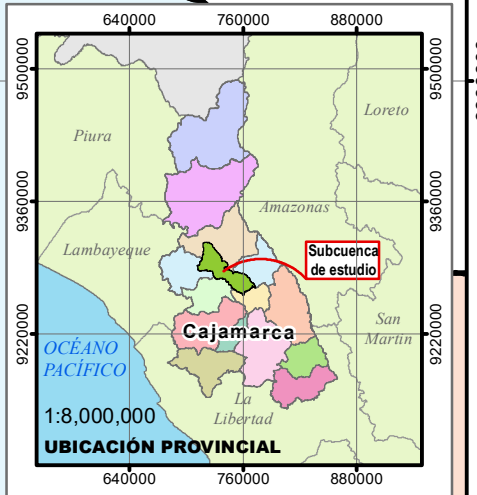


**Demarcación Hidrográfica de la subcuenca de estudio**

Norte	Cuenca Chamaya
Este	Intercuenca Alto Marañón IV
Sur	Cuenca Chancay-Lambayeque y la Intercuenca Alto Marañón IV
Oeste	Cuenca Chancay-Lambayeque

**Características generales de la subcuenca**

Subcuenca de orden 5	Río Chotano
Área (Km <sup>2</sup> )	1 167,33
Perímetro (Km)	221,65
Altura media de la subcuenca (m s.n.m.)	2 406
Longitud de cauce principal (km)	83,42



**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Título:  
 EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR EFECTO DE LAS PRECIPITACIONES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHOTANO

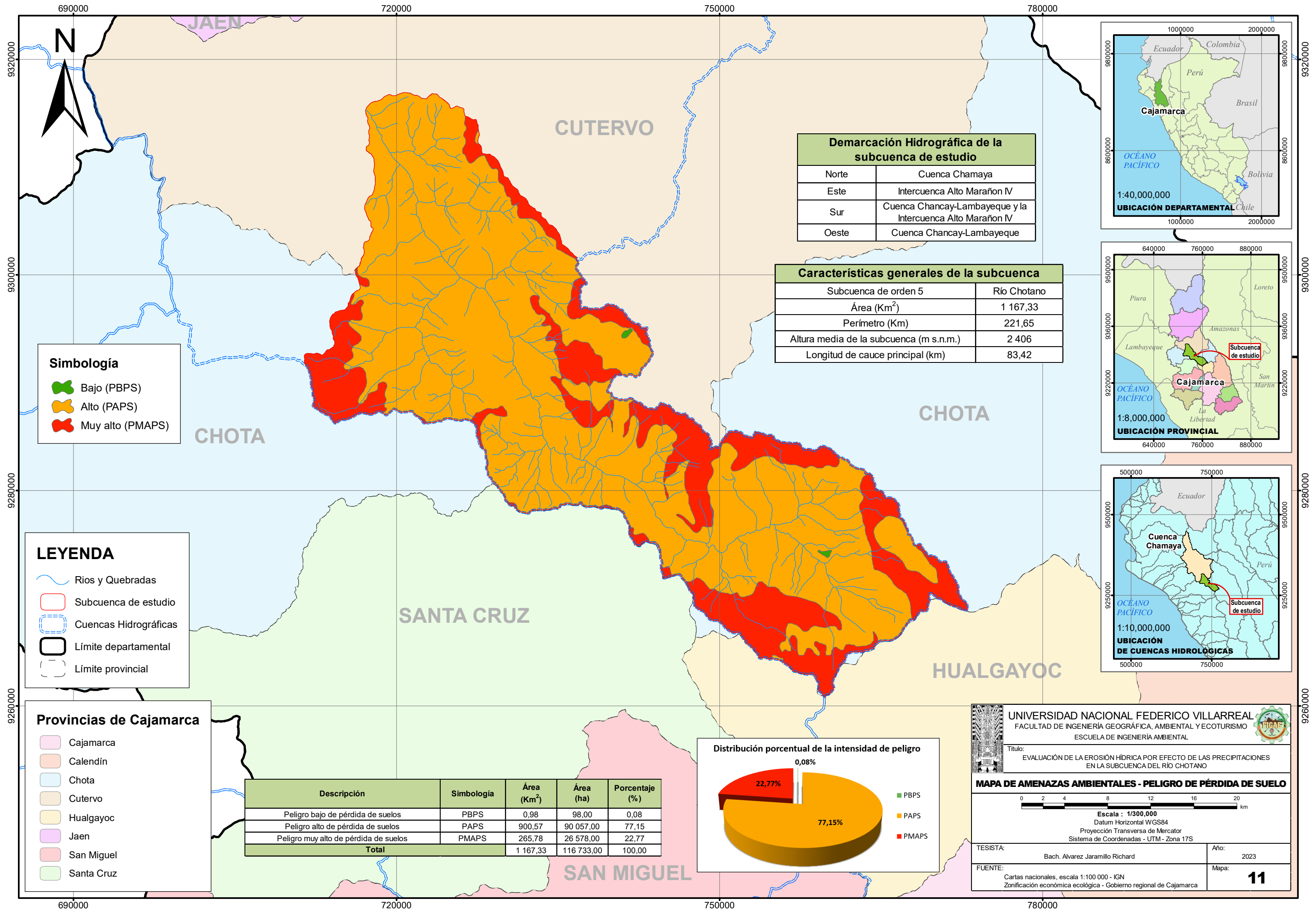
**MAPA DE AMENAZAS AMBIENTALES - DESERTIFICACIÓN**

Escala : 1/300,000  
 Datum Horizontal WGS84  
 Proyección Transversa de Mercator  
 Sistema de Coordenadas - UTM - Zona 17S

TESISTA: Bach. Alvarez Jaramillo Richard Año: 2023

FUENTE: Cartas nacionales, escala 1:100 000 - IGN  
 Zonificación económica ecológica - Gobierno regional de Cajamarca Mapa: **10**





**Simbología**

- Bajo (PBPS)
- Alto (PAPS)
- Muy alto (PMAPS)

**LEYENDA**

- Rios y Quebradas
- Subcuenca de estudio
- Cuencas Hidrográficas
- Límite departamental
- Límite provincial

**Provincias de Cajamarca**

- Cajamarca
- Calendín
- Chota
- Cutervo
- Hualgayoc
- Jaen
- San Miguel
- Santa Cruz

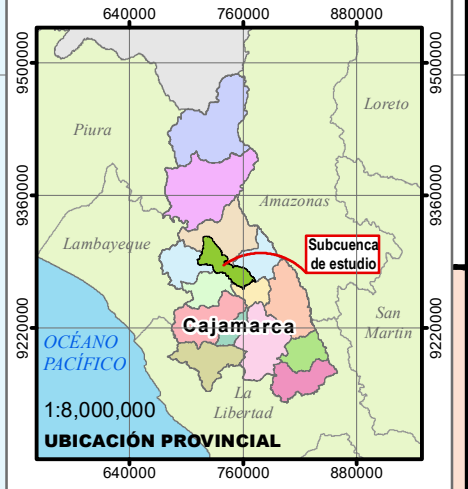
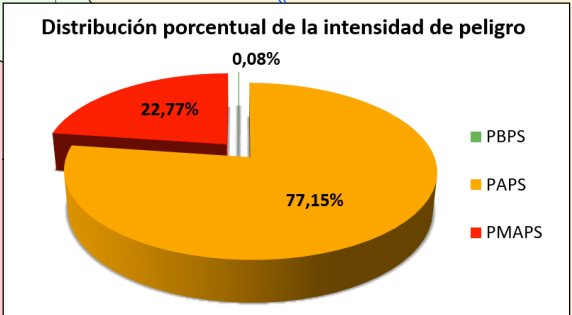
**Demarcación Hidrográfica de la subcuenca de estudio**

Norte	Cuenca Chamaya
Este	Intercuenca Alto Marañón IV
Sur	Cuenca Chancay-Lambayeque y la Intercuenca Alto Marañón IV
Oeste	Cuenca Chancay-Lambayeque

**Características generales de la subcuenca**

Subcuenca de orden 5	Río Chotano
Área (Km <sup>2</sup> )	1 167,33
Perímetro (Km)	221,65
Altura media de la subcuenca (m s.n.m.)	2 406
Longitud de cauce principal (km)	83,42

Descripción	Simbología	Área (Km <sup>2</sup> )	Área (ha)	Porcentaje (%)
Peligro bajo de pérdida de suelos	PBPS	0,98	98,00	0,08
Peligro alto de pérdida de suelos	PAPS	900,57	90 057,00	77,15
Peligro muy alto de pérdida de suelos	PMAPS	265,78	26 578,00	22,77
<b>Total</b>		<b>1 167,33</b>	<b>116 733,00</b>	<b>100,00</b>



**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Título:  
 EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR EFECTO DE LAS PRECIPITACIONES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHOTANO

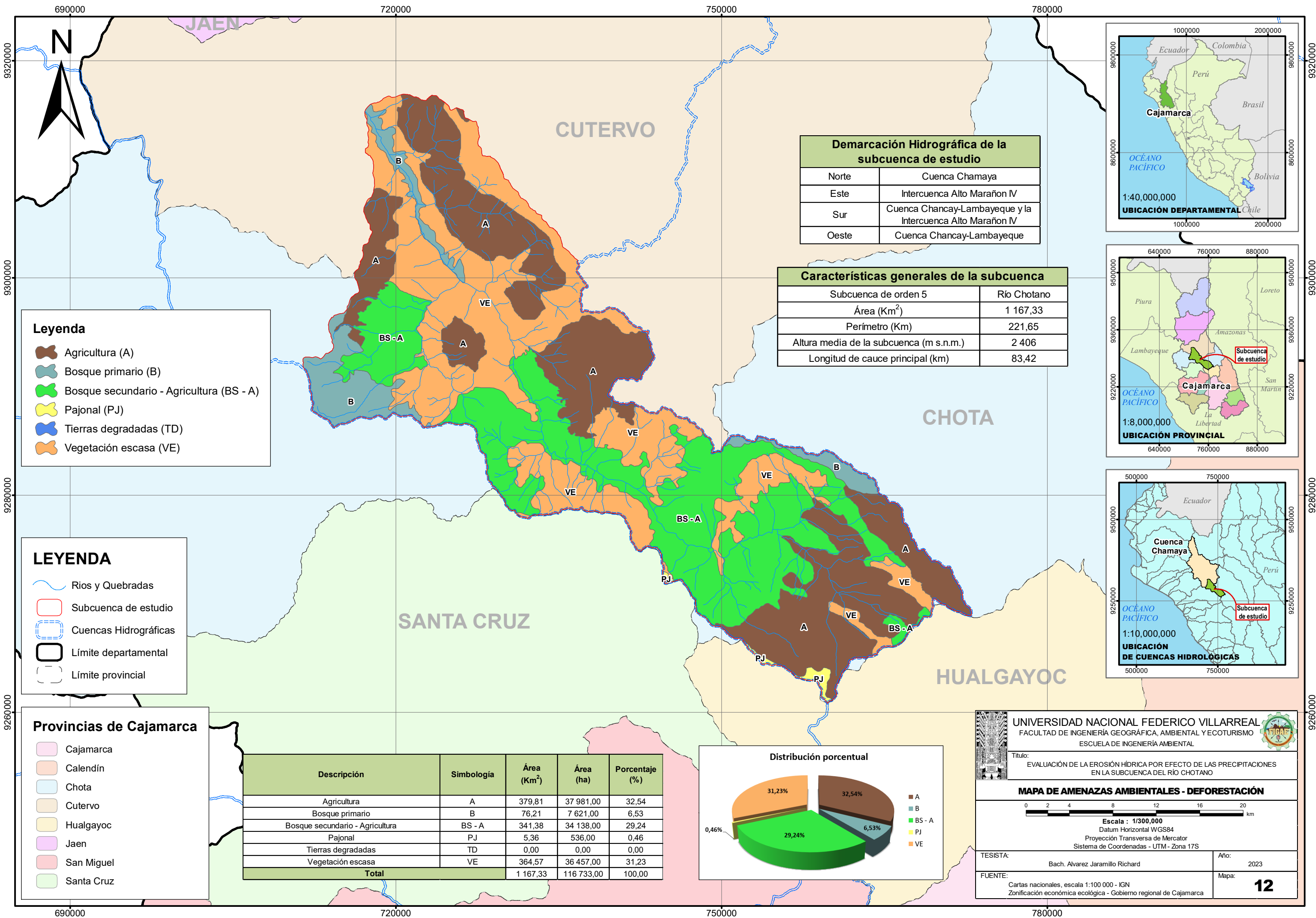
**MAPA DE AMENAZAS AMBIENTALES - PELIGRO DE PÉRDIDA DE SUELO**

0 2 4 8 12 16 20 km

Escala : 1/300,000  
 Datum Horizontal WGS84  
 Proyección Transversa de Mercator  
 Sistema de Coordenadas - UTM - Zona 17S

TESISTA: Bach. Alvarez Jaramillo Richard Año: 2023

FUENTE: Cartas nacionales, escala 1:100 000 - IGN  
 Zonificación económica ecológica - Gobierno regional de Cajamarca Mapa: **11**



**Legenda**

- Agricultura (A)
- Bosque primario (B)
- Bosque secundario - Agricultura (BS - A)
- Pajonal (PJ)
- Tierras degradadas (TD)
- Vegetación escasa (VE)

**LEYENDA**

- Rios y Quebradas
- Subcuenca de estudio
- Cuencas Hidrográficas
- Límite departamental
- Límite provincial

**Provincias de Cajamarca**

- Cajamarca
- Calendín
- Chota
- Cutervo
- Hualgayoc
- Jaen
- San Miguel
- Santa Cruz

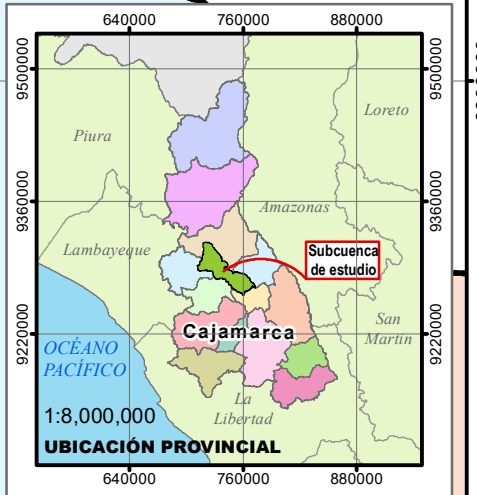
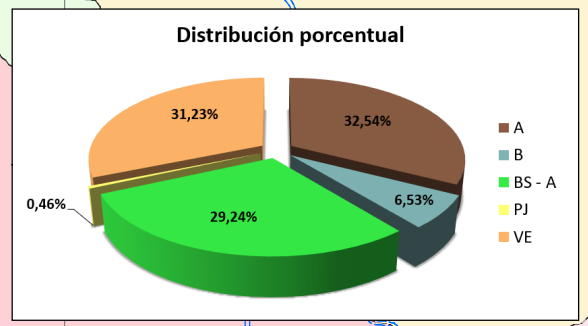
Descripción	Simbología	Área (Km <sup>2</sup> )	Área (ha)	Porcentaje (%)
Agricultura	A	379,81	37 981,00	32,54
Bosque primario	B	76,21	7 621,00	6,53
Bosque secundario - Agricultura	BS - A	341,38	34 138,00	29,24
Pajonal	PJ	5,36	536,00	0,46
Tierras degradadas	TD	0,00	0,00	0,00
Vegetación escasa	VE	364,57	36 457,00	31,23
<b>Total</b>		<b>1 167,33</b>	<b>116 733,00</b>	<b>100,00</b>

**Demarcación Hidrográfica de la subcuenca de estudio**

Norte	Cuenca Chamaya
Este	Intercuenca Alto Marañón IV
Sur	Cuenca Chancay-Lambayeque y la Intercuenca Alto Marañón IV
Oeste	Cuenca Chancay-Lambayeque

**Características generales de la subcuenca**

Subcuenca de orden 5	Río Chotano
Área (Km <sup>2</sup> )	1 167,33
Perímetro (Km)	221,65
Altura media de la subcuenca (m s.n.m.)	2 406
Longitud de cauce principal (km)	83,42



**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Título:  
 EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR EFECTO DE LAS PRECIPITACIONES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHOTANO

**MAPA DE AMENAZAS AMBIENTALES - DEFORESTACIÓN**

Escala : 1/300,000  
 Datum Horizontal WGS84  
 Proyección Transversa de Mercator  
 Sistema de Coordenadas - UTM - Zona 17S

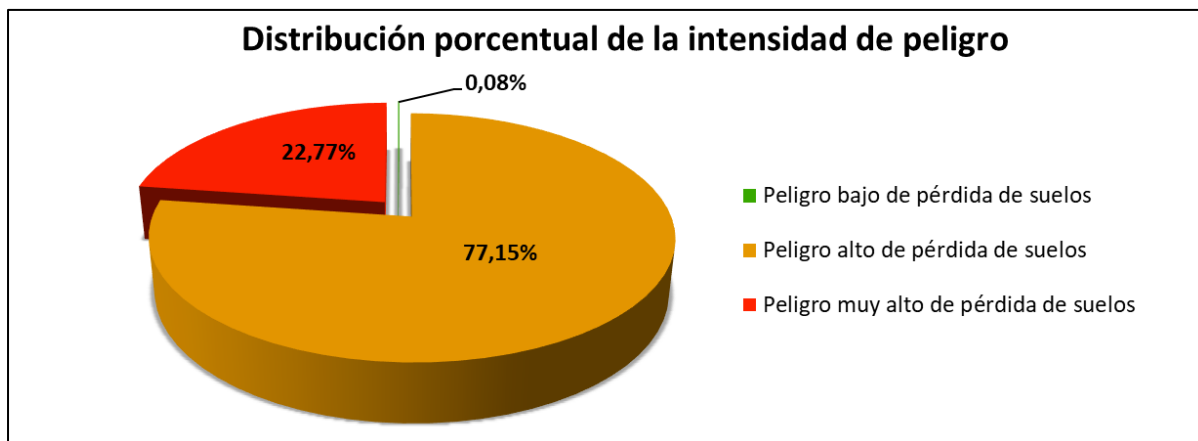
TESISTA: Bach. Alvarez Jaramillo Richard Año: 2023

FUENTE: Cartas nacionales, escala 1:100 000 - IGN  
 Zonificación económica ecológica - Gobierno regional de Cajamarca

Mapa: **12**

**Figura 32**

*Distribución porcentual de la intensidad de peligro de pérdida de suelos en la subcuenca del río Chotano.*



Nota. La subcuenca del río Chotano presenta un peligro alto de pérdida de suelo en el 77,15% del área y un peligro muy alto de pérdida de suelo en el 22,77%, determinando que el 99,92% de la subcuenca de estudio se encuentra en peligro de alto a muy alto de pérdida de suelos.

**3.2.11.3. Proceso de Deforestación.** De la información del mapa de deforestación de la amazonia peruana realizada por el Ministerio de Agricultura, no se identificaron zonas con tierras degradadas dentro de la subcuenca de estudio. Sin embargo, no se debe descartar que este proceso no afecte a futuro a la subcuenca del río Chotano, debido a que dicha actividad es causada por acción antrópica al utilizar la tierra para otros usos, como la ganadería y la agricultura, las cuales pueden intensificar los procesos de la erosión de suelos.

### **3.2.12. Datos históricos de precipitaciones máximas en Cajamarca.**

El servicio nacional de meteorología e hidrología del Perú (Senamhi), mediante su dirección de redes de observación y datos, pone a disposición del público mediante su página oficial la información histórica diaria de 26 estaciones meteorológicas en el departamento de Cajamarca para un mínimo de 31 años. Con dicha información se identificaron las máximas registradas durante cada año para cada estación, las cuales se muestran a continuación:



**Tabla 51***Datos de precipitación máxima histórica para la estación Asunción.*

<b>Estación : ASUNCIÓN, Tipo Convencional - Meteorológica</b>							
<b>Precipitación máxima (mm)</b>							
<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>
<b>1988</b>	29,7	<b>1996</b>	31,4	<b>2004</b>	42,1	<b>2012</b>	45,8
<b>1989</b>	38,7	<b>1997</b>	40,5	<b>2005</b>	37,0	<b>2013</b>	49,2
<b>1990</b>	25,0	<b>1998</b>	65,8	<b>2006</b>	39,2	<b>2014</b>	39,0
<b>1991</b>	66,7	<b>1999</b>	58,7	<b>2007</b>	40,6	<b>2015</b>	72,3
<b>1992</b>	40,6	<b>2000</b>	37,5	<b>2008</b>	53,0	<b>2016</b>	36,6
<b>1993</b>	40,1	<b>2001</b>	48,4	<b>2009</b>	72,1	<b>2017</b>	55,0
<b>1994</b>	40,2	<b>2002</b>	80,2	<b>2010</b>	59,2	<b>2018</b>	114,0 <sup>a</sup>
<b>1995</b>	47,4	<b>2003</b>	32,3	<b>2011</b>	56,6		

Nota. <sup>a</sup>Registra información hasta el mes de setiembre, adaptado de la Dirección de redes de observación y datos del Senamhi.

**Tabla 52***Datos de precipitación máxima histórica para la estación Augusto Weberbauer.*

<b>Estación : AUGUSTO WEBERBAUER, Tipo Convencional - Meteorológica</b>							
<b>Precipitación máxima (mm)</b>							
<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>
<b>1988</b>	18,2	<b>1996</b>	35,1	<b>2004</b>	28,1	<b>2012</b>	27,9
<b>1989</b>	30,0	<b>1997</b>	27,6	<b>2005</b>	20,2	<b>2013</b>	35,3
<b>1990</b>	25,4	<b>1998</b>	31,7	<b>2006</b>	20,6	<b>2014</b>	24,4
<b>1991</b>	29,7	<b>1999</b>	38,8	<b>2007</b>	25,4	<b>2015</b>	25,4
<b>1992</b>	17,7	<b>2000</b>	36,1	<b>2008</b>	27,0	<b>2016</b>	32,4
<b>1993</b>	22,5	<b>2001</b>	28,2	<b>2009</b>	22,2	<b>2017</b>	51,8
<b>1994</b>	28,5	<b>2002</b>	22,3	<b>2010</b>	36,4	<b>2018</b>	33,5 <sup>a</sup>
<b>1995</b>	20,6	<b>2003</b>	20,8	<b>2011</b>	27,7		

Nota. <sup>a</sup>No registra información para diciembre, adaptado de la Dirección de redes de observación y datos del Senamhi.

**Tabla 53***Datos de precipitación máxima histórica para la estación Cachachi.*

<b>Estación : CACHACHI, Tipo Convencional - Meteorológica</b>							
<b>Precipitación máxima (mm)</b>							
<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>
<b>1988</b>	30,5	<b>1996</b>	28,5	<b>2004</b>	33,1 <sup>a</sup>	<b>2012</b>	35,7
<b>1989</b>	31,9	<b>1997</b>	43,9	<b>2005</b>	28,7	<b>2013</b>	34,0
<b>1990</b>	19,0	<b>1998</b>	39,6	<b>2006</b>	38,1	<b>2014</b>	45,0
<b>1991</b>	22,0	<b>1999</b>	42,5	<b>2007</b>	50,1	<b>2015</b>	31,5
<b>1992</b>	13,1	<b>2000</b>	34,0	<b>2008</b>	58,6	<b>2016</b>	40,0
<b>1993</b>	26,5	<b>2001</b>	43,9	<b>2009</b>	45,1	<b>2017</b>	50,0
<b>1994</b>	26,7	<b>2002</b>	40,1	<b>2010</b>	63,9	<b>2018</b>	33,6 <sup>b</sup>
<b>1995</b>	30,2	<b>2003</b>	40,0	<b>2011</b>	30,5		

Nota. <sup>a</sup>No registra información para agosto, <sup>b</sup>registra información hasta el mes de mayo, adaptado de la Dirección de redes de observación y datos del Senamhi.

**Tabla 54***Datos de precipitación máxima histórica para la estación Cajabamba.*

<b>Estación : CAJABAMBA, Tipo Convencional - Meteorológica</b>							
<b>Precipitación máxima (mm)</b>							
<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>
<b>1988</b>	53,0	<b>1996</b>	33,3	<b>2004</b>	36,5	<b>2012</b>	44,9
<b>1989</b>	31,0	<b>1997</b>	48,8	<b>2005</b>	37,1	<b>2013</b>	49,5
<b>1990</b>	32,5	<b>1998</b>	66,2	<b>2006</b>	65,7	<b>2014</b>	36,0
<b>1991</b>	35,0	<b>1999</b>	43,3	<b>2007</b>	50,0	<b>2015</b>	32,0
<b>1992</b>	27,0	<b>2000</b>	25,8	<b>2008</b>	40,9	<b>2016</b>	51,7
<b>1993</b>	43,3	<b>2001</b>	48,6	<b>2009</b>	56,5	<b>2017</b>	55,9
<b>1994</b>	36,0	<b>2002</b>	49,3	<b>2010</b>	44,9	<b>2018</b>	27,1 <sup>a</sup>
<b>1995</b>	31,2	<b>2003</b>	39,0	<b>2011</b>	55,7		

Nota. <sup>a</sup>Registra información hasta el mes de setiembre, adaptado de la Dirección de redes de observación y datos del Senamhi.

**Tabla 55***Datos de precipitación máxima histórica para la estación Chancay Baños.*

<b>Estación : CHANCAY BAÑOS, Tipo Convencional - Meteorológica</b>							
<b>Precipitación máxima (mm)</b>							
<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>
<b>1988</b>	35,7	<b>1996</b>	64,2	<b>2004</b>	36,0	<b>2012</b>	56,6
<b>1989</b>	58,0	<b>1997</b>	51,1	<b>2005</b>	50,5	<b>2013</b>	43,1
<b>1990</b>	25,2	<b>1998</b>	50,2	<b>2006</b>	56,5	<b>2014</b>	63,2
<b>1991</b>	42,2	<b>1999</b>	67,9	<b>2007</b>	77,8	<b>2015</b>	44,5
<b>1992</b>	26,3	<b>2000</b>	52,0	<b>2008</b>	42,2	<b>2016</b>	SD
<b>1993</b>	45,2	<b>2001</b>	56,3	<b>2009</b>	41,9	<b>2017</b>	73,7 <sup>a</sup>
<b>1994</b>	46,9	<b>2002</b>	46,7	<b>2010</b>	88,8	<b>2018</b>	50,0 <sup>b</sup>
<b>1995</b>	42,4	<b>2003</b>	57,5	<b>2011</b>	43,9		

Nota. <sup>a</sup>No hay información registrada en enero y mayo, <sup>b</sup>no registra información para diciembre, SD: Sin datos disponibles para este año, adaptado de la Dirección de redes de observación y datos del Senamhi.

**Tabla 56***Datos de precipitación máxima histórica para la estación Chilete.*

<b>Estación : CHILETE, Tipo Convencional - Meteorológica</b>							
<b>Precipitación máxima (mm)</b>							
<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>
<b>1988</b>	11,8	<b>1996</b>	18,8	<b>2004</b>	6,2	<b>2012</b>	24,5
<b>1989</b>	14,0	<b>1997</b>	30,7	<b>2005</b>	22,7	<b>2013</b>	20,7
<b>1990</b>	14,2	<b>1998</b>	40,2	<b>2006</b>	27,3	<b>2014</b>	9,7 <sup>b</sup>
<b>1991</b>	28,1	<b>1999</b>	48,6	<b>2007</b>	25,5	<b>2015</b>	SD
<b>1992</b>	14,4	<b>2000</b>	12,5	<b>2008</b>	27,5	<b>2016</b>	SD
<b>1993</b>	27,7	<b>2001</b>	18,4	<b>2009</b>	36,8	<b>2017</b>	SD
<b>1994</b>	25,2	<b>2002</b>	14,7	<b>2010</b>	40,2	<b>2018</b>	SD
<b>1995</b>	27,4	<b>2003</b>	9,4	<b>2011</b>	17,8 <sup>a</sup>		

Nota. <sup>a</sup>No hay información registrada en agosto y diciembre, <sup>b</sup>información registrada en los meses de enero y febrero, SD: Sin datos disponibles para este año, adaptado de la Dirección de redes de observación y datos del Senamhi.

**Tabla 57***Datos de precipitación máxima histórica para la estación Chirinos.*

<b>Estación : CHIRINOS, Tipo Convencional - Meteorológica</b>							
<b>Precipitación máxima (mm)</b>							
<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>
<b>1988</b>	43,4	<b>1996</b>	45,5	<b>2004</b>	54,3	<b>2012</b>	39,4
<b>1989</b>	SD	<b>1997</b>	78,6	<b>2005</b>	118,5	<b>2013</b>	45,0
<b>1990</b>	8,0 <sup>a</sup>	<b>1998</b>	100,1	<b>2006</b>	63,1	<b>2014</b>	53,7
<b>1991</b>	63,3 <sup>b</sup>	<b>1999</b>	86,7	<b>2007</b>	62,1	<b>2015</b>	60,4 <sup>c</sup>
<b>1992</b>	36,0	<b>2000</b>	50,0	<b>2008</b>	53,0	<b>2016</b>	SD
<b>1993</b>	73,5	<b>2001</b>	48,0	<b>2009</b>	77,3	<b>2017</b>	102,4 <sup>d</sup>
<b>1994</b>	53,0	<b>2002</b>	59,1	<b>2010</b>	83,5	<b>2018</b>	78,7 <sup>e</sup>
<b>1995</b>	74,6	<b>2003</b>	52,1	<b>2011</b>	62,6		

Nota. <sup>a</sup>Información solo en diciembre, <sup>b</sup>no hay información en abril, mayo y junio, <sup>c</sup>no hay datos para agosto, <sup>d</sup>no registra datos en enero, <sup>e</sup>no registra datos para diciembre, SD: Sin datos para este año, adaptado de la Dirección de redes de observación y datos del Senamhi.

**Tabla 58***Datos de precipitación máxima histórica para la estación Chontali.*

<b>Estación : CHONTALI, Tipo Convencional - Meteorológica</b>							
<b>Precipitación máxima (mm)</b>							
<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>
<b>1988</b>	26,7 <sup>a</sup>	<b>1996</b>	40,8	<b>2004</b>	52,2	<b>2012</b>	82,5
<b>1989</b>	SD	<b>1997</b>	50,4	<b>2005</b>	66,3	<b>2013</b>	38,8
<b>1990</b>	SD	<b>1998</b>	51,3	<b>2006</b>	45,6	<b>2014</b>	51,8
<b>1991</b>	64,2	<b>1999</b>	51,6	<b>2007</b>	51,6	<b>2015</b>	63,2
<b>1992</b>	74,8	<b>2000</b>	92,5	<b>2008</b>	69,5	<b>2016</b>	SD
<b>1993</b>	38,2	<b>2001</b>	70,5	<b>2009</b>	49,5	<b>2017</b>	72,1 <sup>c</sup>
<b>1994</b>	48,4	<b>2002</b>	29,0	<b>2010</b>	59,7 <sup>b</sup>	<b>2018</b>	83,6 <sup>d</sup>
<b>1995</b>	46,8	<b>2003</b>	48,0	<b>2011</b>	54,0		

Nota. <sup>a</sup>Registra datos solo en marzo, abril y mayo, <sup>b</sup>no hay datos para noviembre, <sup>c</sup>no hay datos en enero y mayo, <sup>d</sup>no registra información para diciembre, SD: Sin datos disponibles para este año, adaptado de la Dirección de redes de observación y datos del Senamhi.

**Tabla 59**

*Datos de precipitación máxima histórica para la estación Chotano Lajas.*

<b>Estación : CHOTANO LAJAS, Tipo Convencional - Meteorológica</b>							
<b>Precipitación máxima (mm)</b>							
<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>
<b>1988</b>	31,2	<b>1996</b>	31,1	<b>2004</b>	43,3	<b>2012</b>	48,5
<b>1989</b>	82,1	<b>1997</b>	48,3	<b>2005</b>	37,5	<b>2013</b>	50,4
<b>1990</b>	43,3	<b>1998</b>	69,1	<b>2006</b>	42,4	<b>2014</b>	40,0
<b>1991</b>	33,9	<b>1999</b>	53,3	<b>2007</b>	41,2	<b>2015</b>	41,1
<b>1992</b>	37,8	<b>2000</b>	35,4	<b>2008</b>	49,0	<b>2016</b>	37,5
<b>1993</b>	25,8 <sup>a</sup>	<b>2001</b>	42,5	<b>2009</b>	54,1	<b>2017</b>	41,8
<b>1994</b>	31,8	<b>2002</b>	39,5	<b>2010</b>	57,7	<b>2018</b>	46,5
<b>1995</b>	38,1	<b>2003</b>	32,6	<b>2011</b>	28,8		

Nota. <sup>a</sup>No hay información registrada en febrero y agosto, adaptado de la Dirección de redes de observación y datos del Senamhi.

**Tabla 60**

*Datos de precipitación máxima histórica para la estación Chugur.*

<b>Estación : CHUGUR, Tipo Convencional - Meteorológica</b>							
<b>Precipitación máxima (mm)</b>							
<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>
<b>1988</b>	45,6	<b>1996</b>	50,0	<b>2004</b>	58,5	<b>2012</b>	48,5
<b>1989</b>	43,0	<b>1997</b>	63,8	<b>2005</b>	67,8 <sup>b</sup>	<b>2013</b>	52,9
<b>1990</b>	27,5	<b>1998</b>	53,9	<b>2006</b>	59,2	<b>2014</b>	87,2
<b>1991</b>	9,9 <sup>a</sup>	<b>1999</b>	50,9	<b>2007</b>	44,9	<b>2015</b>	85,2
<b>1992</b>	8,8	<b>2000</b>	85,1	<b>2008</b>	87,3	<b>2016</b>	61,5
<b>1993</b>	64,0	<b>2001</b>	62,6	<b>2009</b>	62,9	<b>2017</b>	86,5
<b>1994</b>	26,9	<b>2002</b>	43,7	<b>2010</b>	74,8	<b>2018</b>	42,8 <sup>c</sup>
<b>1995</b>	50,0	<b>2003</b>	75,1	<b>2011</b>	66,5		

Nota. <sup>a</sup>No hay información registrada en los meses de mayo y junio, <sup>b</sup>no registra información para julio, <sup>c</sup>información registrada solo de enero a abril, agosto y setiembre, adaptado de la Dirección de redes de observación y datos del Senamhi.

**Tabla 61***Datos de precipitación máxima histórica para la estación Cochabamba.*

<b>Estación : COCHABAMBA, Tipo Convencional - Meteorológica</b>							
<b>Precipitación máxima (mm)</b>							
<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>
<b>1988</b>	102,0	<b>1996</b>	83,0	<b>2004</b>	46,7	<b>2012</b>	74,4
<b>1989</b>	67,2	<b>1997</b>	50,5	<b>2005</b>	35,1	<b>2013</b>	59,5
<b>1990</b>	45,0	<b>1998</b>	45,0	<b>2006</b>	42,6	<b>2014</b>	42,4
<b>1991</b>	34,0 <sup>a</sup>	<b>1999</b>	71,4 <sup>c</sup>	<b>2007</b>	60,6	<b>2015</b>	66,4
<b>1992</b>	58,0	<b>2000</b>	83,0	<b>2008</b>	102,2	<b>2016</b>	51,5
<b>1993</b>	48,6	<b>2001</b>	80,2	<b>2009</b>	55,8	<b>2017</b>	34,8 <sup>d</sup>
<b>1994</b>	60,0 <sup>b</sup>	<b>2002</b>	80,5	<b>2010</b>	82,2	<b>2018</b>	44,2 <sup>e</sup>
<b>1995</b>	41,0	<b>2003</b>	53,0	<b>2011</b>	49,2		

Nota. <sup>a</sup>No hay información registrada para mayo y junio, <sup>b</sup>no hay información para julio y agosto, <sup>c</sup>no hay datos para abril y mayo, <sup>d</sup>no hay información para enero y mayo, <sup>e</sup>no registra datos para diciembre, adaptado de la Dirección de redes de observación y datos del Senamhi.

**Tabla 62***Datos de precipitación máxima histórica para la estación Cutervo.*

<b>Estación : CUTERVO, Tipo Convencional - Meteorológica</b>							
<b>Precipitación máxima (mm)</b>							
<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>
<b>1988</b>	74,1	<b>1996</b>	39,5	<b>2004</b>	38,6	<b>2012</b>	40,5
<b>1989</b>	38,5	<b>1997</b>	36,0	<b>2005</b>	46,7	<b>2013</b>	59,0
<b>1990</b>	52,0	<b>1998</b>	65,7	<b>2006</b>	49,5	<b>2014</b>	65,0
<b>1991</b>	31,2 <sup>a</sup>	<b>1999</b>	57,0	<b>2007</b>	49,7	<b>2015</b>	43,2
<b>1992</b>	31,0	<b>2000</b>	50,0	<b>2008</b>	38,3 <sup>b</sup>	<b>2016</b>	51,0
<b>1993</b>	52,0	<b>2001</b>	49,1	<b>2009</b>	28,8 <sup>c</sup>	<b>2017</b>	41,0 <sup>e</sup>
<b>1994</b>	81,5	<b>2002</b>	54,4	<b>2010</b>	50,4	<b>2018</b>	42,8 <sup>f</sup>
<b>1995</b>	33,7	<b>2003</b>	40,0	<b>2011</b>	35,2 <sup>d</sup>		

Nota. <sup>a</sup>No hay datos para marzo y abril, <sup>b</sup>no hay datos para noviembre, <sup>c</sup>no hay datos para marzo, <sup>d</sup>no hay datos para agosto, <sup>e</sup>registra datos hasta setiembre, <sup>f</sup>registra información desde el mes de setiembre, adaptado de la Dirección de redes de observación y datos del Senamhi.

**Tabla 63***Datos de precipitación máxima histórica para la estación El Limón.*

<b>Estación : EL LIMÓN, Tipo Convencional - Meteorológica</b>							
<b>Precipitación máxima (mm)</b>							
<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>
<b>1988</b>	38,8	<b>1996</b>	45,4	<b>2004</b>	18,4	<b>2012</b>	50,0
<b>1989</b>	29,1	<b>1997</b>	31,6	<b>2005</b>	43,0	<b>2013</b>	25,6*
<b>1990</b>	50,7	<b>1998</b>	55,1	<b>2006</b>	41,7	<b>2014</b>	25,5
<b>1991</b>	31,7	<b>1999</b>	58,5	<b>2007</b>	33,2	<b>2015</b>	41,6
<b>1992</b>	32,5	<b>2000</b>	52,6	<b>2008</b>	63,8	<b>2016</b>	47,4
<b>1993</b>	60,3	<b>2001</b>	31,8	<b>2009</b>	28,2	<b>2017</b>	47,8**
<b>1994</b>	71,2	<b>2002</b>	55,4	<b>2010</b>	91,3	<b>2018</b>	29,4
<b>1995</b>	27,1	<b>2003</b>	24,1	<b>2011</b>	51,0		

Nota. <sup>a</sup>No registra datos para agosto, <sup>b</sup>no hay información registrada para los meses de enero y mayo, adaptado de la Dirección de redes de observación y datos del Senamhi.

**Tabla 64***Datos de precipitación máxima histórica para la estación Hacienda Pucara.*

<b>Estación : HACIENDA PUCARA, Tipo Convencional - Meteorológica</b>							
<b>Precipitación máxima (mm)</b>							
<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>
<b>1988</b>	40,0	<b>1996</b>	40,7	<b>2004</b>	50,1	<b>2012</b>	39,8
<b>1989</b>	39,0	<b>1997</b>	12,1	<b>2005</b>	50,2	<b>2013</b>	47,5
<b>1990</b>	40,0	<b>1998</b>	60,1	<b>2006</b>	51,1	<b>2014</b>	58,2
<b>1991</b>	25,0 <sup>a</sup>	<b>1999</b>	37,6	<b>2007</b>	60,7	<b>2015</b>	82,6 <sup>b</sup>
<b>1992</b>	28,8	<b>2000</b>	70,5	<b>2008</b>	52,5	<b>2016</b>	49,4
<b>1993</b>	43,3	<b>2001</b>	51,8	<b>2009</b>	53,1	<b>2017</b>	39,7
<b>1994</b>	31,8	<b>2002</b>	40,6	<b>2010</b>	45,1	<b>2018</b>	33,8
<b>1995</b>	23,6	<b>2003</b>	61,3	<b>2011</b>	31,8		

Nota. <sup>a</sup>No registra datos en los meses de julio a diciembre, <sup>b</sup>no hay información registrada para marzo, adaptado de la Dirección de redes de observación y datos del Senamhi.

**Tabla 65**

*Datos de precipitación máxima histórica para la estación La Cascarilla.*

<b>Estación : LA CASCARILLA, Tipo Convencional - Meteorológica</b>							
<b>Precipitación máxima (mm)</b>							
<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>
<b>1988</b>	115,0	<b>1996</b>	57,2	<b>2004</b>	72,7	<b>2012</b>	70,3
<b>1989</b>	SD	<b>1997</b>	61,1	<b>2005</b>	73,9	<b>2013</b>	80,5
<b>1990</b>	SD	<b>1998</b>	82,6	<b>2006</b>	67,6 <sup>b</sup>	<b>2014</b>	90,2
<b>1991</b>	SD	<b>1999</b>	66,8	<b>2007</b>	80,5	<b>2015</b>	63,6
<b>1992</b>	127,0 <sup>a</sup>	<b>2000</b>	83,2	<b>2008</b>	67,9	<b>2016</b>	62,2 <sup>c</sup>
<b>1993</b>	80,0	<b>2001</b>	110,5	<b>2009</b>	87,9	<b>2017</b>	56,0 <sup>d</sup>
<b>1994</b>	70,0	<b>2002</b>	67,0	<b>2010</b>	66,7	<b>2018</b>	83,7
<b>1995</b>	77,4	<b>2003</b>	55,2	<b>2011</b>	83,0		

Nota. <sup>a</sup>Registra información desde el mes de junio, <sup>b</sup>no registra datos para junio, <sup>c</sup>no hay información registrada en los meses de febrero y de agosto a diciembre, <sup>d</sup>no hay datos registrados en enero y mayo, SD: Sin datos disponibles para este año, adaptado de la Dirección de redes de observación y datos del Senamhi.

**Tabla 66**

*Datos de precipitación máxima histórica para la estación Lives.*

<b>Estación : LIVES, Tipo Convencional - Meteorológica</b>							
<b>Precipitación máxima (mm)</b>							
<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>
<b>1988</b>	25,2	<b>1996</b>	53,6	<b>2004</b>	35,0	<b>2012</b>	42,0
<b>1989</b>	37,0	<b>1997</b>	52,4	<b>2005</b>	34,7	<b>2013</b>	44,0
<b>1990</b>	22,0	<b>1998</b>	78,6	<b>2006</b>	38,7	<b>2014</b>	22,3
<b>1991</b>	36,0	<b>1999</b>	33,0	<b>2007</b>	24,4	<b>2015</b>	101,9
<b>1992</b>	33,0	<b>2000</b>	22,6	<b>2008</b>	61,7	<b>2016</b>	41,5
<b>1993</b>	74,7	<b>2001</b>	74,4	<b>2009</b>	24,3	<b>2017</b>	37,8
<b>1994</b>	65,3	<b>2002</b>	65,7	<b>2010</b>	44,5	<b>2018</b>	27,3 <sup>a</sup>
<b>1995</b>	42,6	<b>2003</b>	20,6	<b>2011</b>	26,1		

Nota. <sup>a</sup>Registra información hasta el mes de setiembre, adaptado de la Dirección de redes de observación y datos del Senamhi.



**Tabla 67***Datos de precipitación máxima histórica para la estación Llama.*

<b>Estación : LLAMA, Tipo Convencional - Meteorológica</b>							
<b>Precipitación máxima (mm)</b>							
<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>
<b>1988</b>	37,1 <sup>a</sup>	<b>1996</b>	40,5	<b>2004</b>	33,9	<b>2012</b>	72,2
<b>1989</b>	39,5	<b>1997</b>	81,8	<b>2005</b>	55,3	<b>2013</b>	65,8
<b>1990</b>	27,4	<b>1998</b>	90,3	<b>2006</b>	59,7	<b>2014</b>	32,5
<b>1991</b>	36,5	<b>1999</b>	41,6	<b>2007</b>	40,3	<b>2015</b>	55,5
<b>1992</b>	60,3 <sup>b</sup>	<b>2000</b>	58,9	<b>2008</b>	68,8	<b>2016</b>	54,5
<b>1993</b>	88,4	<b>2001</b>	67,2	<b>2009</b>	61,9	<b>2017</b>	126,3
<b>1994</b>	49,2	<b>2002</b>	123,3	<b>2010</b>	80,7	<b>2018</b>	91,0
<b>1995</b>	48,5	<b>2003</b>	68,0	<b>2011</b>	48,1		

Nota. <sup>a</sup>No registra información para el mes de diciembre, <sup>b</sup>no hay información registrada en los meses de julio y agosto, adaptado de la Dirección de redes de observación y datos del Senamhi.

**Tabla 68***Datos de precipitación máxima histórica para la estación Quebrada Shugar.*

<b>Estación : QUEBRADA SHUGAR, Tipo Convencional - Meteorológica</b>							
<b>Precipitación máxima (mm)</b>							
<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>
<b>1988</b>	30,8	<b>1996</b>	24,5	<b>2004</b>	29,8	<b>2012</b>	50,3
<b>1989</b>	32,8	<b>1997</b>	31,2	<b>2005</b>	37,6	<b>2013</b>	33,9
<b>1990</b>	46,5	<b>1998</b>	35,3	<b>2006</b>	26,2	<b>2014</b>	34,7
<b>1991</b>	31,8	<b>1999</b>	41,1	<b>2007</b>	25,1	<b>2015</b>	22,3 <sup>a</sup>
<b>1992</b>	33,7	<b>2000</b>	35,8	<b>2008</b>	30,0	<b>2016</b>	19,4 <sup>b</sup>
<b>1993</b>	23,9	<b>2001</b>	24,3	<b>2009</b>	29,0	<b>2017</b>	44,5
<b>1994</b>	21,5	<b>2002</b>	37,2	<b>2010</b>	31,2	<b>2018</b>	28,5
<b>1995</b>	33,1	<b>2003</b>	34,9	<b>2011</b>	30,2		

Nota. <sup>a</sup>No hay información registrada en los meses de marzo a junio, <sup>b</sup>información registrada en los meses de enero y de abril a julio, adaptado de la Dirección de redes de observación y datos del Senamhi.

**Tabla 69***Datos de precipitación máxima histórica para la estación Querocotillo.*

<b>Estación : QUEROCOTILLO, Tipo Convencional - Meteorológica</b>							
<b>Precipitación máxima (mm)</b>							
<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>
<b>1988</b>	7,5	<b>1996</b>	61,5	<b>2004</b>	66,7	<b>2012</b>	42,8
<b>1989</b>	5,0	<b>1997</b>	33,0	<b>2005</b>	36,0	<b>2013</b>	43,0
<b>1990</b>	6,0	<b>1998</b>	80,0	<b>2006</b>	49,8	<b>2014</b>	35,0
<b>1991</b>	6,5	<b>1999</b>	62,7	<b>2007</b>	51,0	<b>2015</b>	51,0 <sup>a</sup>
<b>1992</b>	7,5	<b>2000</b>	55,0	<b>2008</b>	47,7	<b>2016</b>	56,8
<b>1993</b>	17,5	<b>2001</b>	40,3	<b>2009</b>	55,2	<b>2017</b>	50,0
<b>1994</b>	31,0	<b>2002</b>	40,6	<b>2010</b>	67,1	<b>2018</b>	39,0
<b>1995</b>	46,0	<b>2003</b>	62,0	<b>2011</b>	37,4		

Nota. <sup>a</sup>No registra información para el mes de marzo, adaptado de la Dirección de redes de observación y datos del Senamhi.

**Tabla 70***Datos de precipitación máxima histórica para la estación Sallique.*

<b>Estación : SALLIQUE, Tipo Convencional - Meteorológica</b>							
<b>Precipitación máxima (mm)</b>							
<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>
<b>1988</b>	36,8 <sup>a</sup>	<b>1996</b>	72,8	<b>2004</b>	23,3	<b>2012</b>	31,6
<b>1989</b>	35,9	<b>1997</b>	32,3	<b>2005</b>	36,0 <sup>b</sup>	<b>2013</b>	20,8
<b>1990</b>	90,0	<b>1998</b>	62,7	<b>2006</b>	51,2 <sup>c</sup>	<b>2014</b>	41,0
<b>1991</b>	53,7	<b>1999</b>	48,9	<b>2007</b>	53,0	<b>2015</b>	39,3
<b>1992</b>	29,8	<b>2000</b>	67,0	<b>2008</b>	36,2	<b>2016</b>	47,8 <sup>d</sup>
<b>1993</b>	37,9	<b>2001</b>	43,1	<b>2009</b>	48,7	<b>2017</b>	48,3 <sup>e</sup>
<b>1994</b>	42,8	<b>2002</b>	41,4	<b>2010</b>	36,0	<b>2018</b>	54,0
<b>1995</b>	37,6	<b>2003</b>	23,0	<b>2011</b>	36,8		

Nota. <sup>a</sup>No hay información en los meses de enero y febrero, <sup>b</sup>no registra datos para febrero, <sup>c</sup>no hay datos para diciembre, <sup>d</sup>registra datos hasta el mes de setiembre, <sup>e</sup>no hay datos en abril y mayo, adaptado de la Dirección de redes de observación y datos del Senamhi.

**Tabla 71***Datos de precipitación máxima histórica para la estación San Benito.*

<b>Estación : SAN BENITO, Tipo Convencional - Meteorológica</b>							
<b>Precipitación máxima (mm)</b>							
<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>
<b>1988</b>	45,0	<b>1996</b>	37,6	<b>2004</b>	34,0	<b>2012</b>	65,4
<b>1989</b>	37,0	<b>1997</b>	50,0	<b>2005</b>	14,0 <sup>a</sup>	<b>2013</b>	68,0
<b>1990</b>	15,0	<b>1998</b>	102,0	<b>2006</b>	28,0	<b>2014</b>	18,1
<b>1991</b>	58,0	<b>1999</b>	42,9	<b>2007</b>	19,5	<b>2015</b>	61,5
<b>1992</b>	90,0	<b>2000</b>	57,5	<b>2008</b>	47,3	<b>2016</b>	33,4
<b>1993</b>	54,0	<b>2001</b>	50,6	<b>2009</b>	46,6	<b>2017</b>	97,0
<b>1994</b>	57,8	<b>2002</b>	108,1	<b>2010</b>	43,6 <sup>b</sup>	<b>2018</b>	22,0 <sup>c</sup>
<b>1995</b>	25,0	<b>2003</b>	31,2	<b>2011</b>	14,3		

Nota. <sup>a</sup>No registra información para marzo, <sup>b</sup>no registra datos en los meses de junio y julio, <sup>c</sup>registra datos hasta el mes de setiembre, adaptado de la Dirección de redes de observación y datos del Senamhi.

**Tabla 72***Datos de precipitación máxima histórica para la estación San Juan.*

<b>Estación : SAN JUAN, Tipo Convencional - Meteorológica</b>							
<b>Precipitación máxima (mm)</b>							
<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>
<b>1988</b>	34,5	<b>1996</b>	30,4	<b>2004</b>	34,8	<b>2012</b>	50,0
<b>1989</b>	36,7	<b>1997</b>	43,4	<b>2005</b>	30,4	<b>2013</b>	45,6
<b>1990</b>	46,7	<b>1998</b>	57,0	<b>2006</b>	55,2	<b>2014</b>	28,7
<b>1991</b>	44,3	<b>1999</b>	58,0	<b>2007</b>	51,7	<b>2015</b>	38,5
<b>1992</b>	37,6	<b>2000</b>	60,2	<b>2008</b>	53,0	<b>2016</b>	31,3
<b>1993</b>	34,5	<b>2001</b>	36,1	<b>2009</b>	74,1	<b>2017</b>	53,7
<b>1994</b>	49,6	<b>2002</b>	39,5	<b>2010</b>	54,0	<b>2018</b>	68,5 <sup>a</sup>
<b>1995</b>	32,0	<b>2003</b>	30,1	<b>2011</b>	52,5		

Nota. <sup>a</sup>Registra información hasta el mes de setiembre, adaptado de la Dirección de redes de observación y datos del Senamhi.

**Tabla 73***Datos de precipitación máxima histórica para la estación San Marcos.*

<b>Estación : SAN MARCOS, Tipo Convencional - Meteorológica</b>							
<b>Precipitación máxima (mm)</b>							
<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>
<b>1988</b>	31,6	<b>1996</b>	26,3	<b>2004</b>	37,2	<b>2012</b>	48,0
<b>1989</b>	27,7	<b>1997</b>	28,7	<b>2005</b>	45,5	<b>2013</b>	49,7
<b>1990</b>	45,3	<b>1998</b>	47,7	<b>2006</b>	48,9	<b>2014</b>	42,0 <sup>b</sup>
<b>1991</b>	34,0	<b>1999</b>	45,2	<b>2007</b>	28,6	<b>2015</b>	SD
<b>1992</b>	35,5	<b>2000</b>	23,2	<b>2008</b>	44,5	<b>2016</b>	SD
<b>1993</b>	28,4	<b>2001</b>	43,2	<b>2009</b>	39,4	<b>2017</b>	SD
<b>1994</b>	40,3	<b>2002</b>	40,2	<b>2010</b>	34,4	<b>2018</b>	SD
<b>1995</b>	26,3	<b>2003</b>	44,1	<b>2011</b>	27,5 <sup>a</sup>		

Nota. <sup>a</sup>No hay datos en abril, <sup>b</sup>registra datos hasta el mes de junio, SD: Sin datos disponibles para este año, adaptado de la Dirección de redes de observación y datos del Senamhi.

**Tabla 74***Datos de precipitación máxima histórica para la estación Tabaconas.*

<b>Estación : TABACONAS, Tipo Convencional - Meteorológica</b>							
<b>Precipitación máxima (mm)</b>							
<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>
<b>1988</b>	56,4	<b>1996</b>	36,0	<b>2004</b>	45,3	<b>2012</b>	62,9
<b>1989</b>	35,8 <sup>a</sup>	<b>1997</b>	37,7	<b>2005</b>	33,7	<b>2013</b>	34,7
<b>1990</b>	35,2 <sup>b</sup>	<b>1998</b>	75,9	<b>2006</b>	41,1	<b>2014</b>	51,7
<b>1991</b>	36,0 <sup>c</sup>	<b>1999</b>	34,4	<b>2007</b>	40,2	<b>2015</b>	65,9
<b>1992</b>	37,0 <sup>d</sup>	<b>2000</b>	37,0	<b>2008</b>	35,2	<b>2016</b>	37,4 <sup>e</sup>
<b>1993</b>	45,4	<b>2001</b>	39,4	<b>2009</b>	41,4	<b>2017</b>	48,0 <sup>f</sup>
<b>1994</b>	53,0	<b>2002</b>	42,0	<b>2010</b>	50,5	<b>2018</b>	12,6 <sup>g</sup>
<b>1995</b>	28,3	<b>2003</b>	39,0	<b>2011</b>	47,2		

Nota. <sup>a</sup>No hay datos en enero y junio, <sup>b</sup>no hay datos para agosto, <sup>c</sup>no hay datos en junio y julio, <sup>d</sup>no hay datos para noviembre, <sup>e</sup>registra datos hasta el mes de mayo, <sup>f</sup>datos registrados de enero a marzo y de agosto a setiembre, <sup>g</sup>datos registrados de agosto a setiembre, SD: Sin datos para este año, adaptado de la Dirección de redes de observación y datos del Senamhi.

**Tabla 75***Datos de precipitación máxima histórica para la estación Tocmoche.*

<b>Estación : TOCMOCHE, Tipo Convencional - Meteorológica</b>							
<b>Precipitación máxima (mm)</b>							
<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>
<b>1988</b>	28,0	<b>1996</b>	32,0	<b>2004</b>	110,0	<b>2012</b>	67,5
<b>1989</b>	45,0	<b>1997</b>	85,0	<b>2005</b>	36,0	<b>2013</b>	62,0
<b>1990</b>	15,0	<b>1998</b>	100,0	<b>2006</b>	39,0 <sup>c</sup>	<b>2014</b>	59,6
<b>1991</b>	5,2 <sup>a</sup>	<b>1999</b>	50,0	<b>2007</b>	33,0	<b>2015</b>	91,8
<b>1992</b>	61,0	<b>2000</b>	110,0	<b>2008</b>	109,4	<b>2016</b>	3,2 <sup>d</sup>
<b>1993</b>	47,0 <sup>b</sup>	<b>2001</b>	78,0	<b>2009</b>	57,0	<b>2017</b>	95,2 <sup>e</sup>
<b>1994</b>	12,0	<b>2002</b>	68,0	<b>2010</b>	65,8	<b>2018</b>	20,0
<b>1995</b>	7,0	<b>2003</b>	53,0	<b>2011</b>	42,5		

Nota. <sup>a</sup>No hay información registrada de febrero a julio, <sup>b</sup>no hay datos para diciembre, <sup>c</sup>no hay datos para marzo, <sup>d</sup>registra información desde el mes de junio, <sup>e</sup>no registra datos para el mes de mayo, adaptado de la Dirección de redes de observación y datos del Senamhi.

**Tabla 76***Datos de precipitación máxima histórica para la estación Udima.*

<b>Estación : UDIMA, Tipo Convencional - Meteorológica</b>							
<b>Precipitación máxima (mm)</b>							
<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>	<b>Año</b>	<b>Pp máx.</b>
<b>1988</b>	45,0	<b>1996</b>	46,0	<b>2004</b>	52,5	<b>2012</b>	42,8
<b>1989</b>	46,0	<b>1997</b>	30,0	<b>2005</b>	37,2	<b>2013</b>	33,4
<b>1990</b>	32,0	<b>1998</b>	112,5	<b>2006</b>	49,0	<b>2014</b>	38,2
<b>1991</b>	43,0	<b>1999</b>	48,0	<b>2007</b>	43,9	<b>2015</b>	34,7
<b>1992</b>	28,0	<b>2000</b>	540,0	<b>2008</b>	75,9	<b>2016</b>	54,3 <sup>a</sup>
<b>1993</b>	43,5	<b>2001</b>	74,0	<b>2009</b>	51,3	<b>2017</b>	42,8 <sup>b</sup>
<b>1994</b>	43,5	<b>2002</b>	100,5	<b>2010</b>	57,0	<b>2018</b>	42,8
<b>1995</b>	42,0	<b>2003</b>	36,3	<b>2011</b>	32,0		

Nota. <sup>a</sup>Información registrada en enero y de marzo a julio, <sup>b</sup>no hay datos para enero y mayo, adaptado de la Dirección de redes de observación y datos del Senamhi.

### 3.3. Variables

#### 3.3.1. Variables del primer objetivo específico

- **Categoría:** Modelo USLE.
- **Variables Dependientes:** Pérdida anual de suelos.
- **Variables independientes:** Precipitación (medias y máximas), tipo de suelo, pendiente del terreno, cobertura vegetal y prácticas de conservación de suelos.

#### 3.3.2. Variables del segundo objetivo específico

- **Categoría:** Modelo USLE.
- **Variables Dependientes:** Erosión potencial de suelos.
- **Variables independientes:** Precipitación (Medias y máximas), tipo de suelo, pendiente del terreno.

#### 3.3.3. Variables del tercer objetivo específico

- **Categoría:** SIG.
- **Variables Dependientes:** Identificación de zonas de erosión hídrica y potencial.
- **Variables independientes:** Precipitación (Medias y máximas), tipo de suelo, pendiente del terreno y cobertura vegetal.

### 3.4. Población y muestra

#### 3.4.1. Población

La población tomada para la presente investigación es la cuenca Chamaya; ubicado en los departamentos de Cajamarca, Piura y Lambayeque.

### **3.4.2. Muestra**

Pertenece a la subcuenca del río Chotano que se encuentran en la parte Sur de la Cuenca Chamaya, pertenecientes a la provincia de Chota (distritos de Chota, Cochabamba, Huambos, Lajas y Querocoto) y a la provincia de Cutervo (distritos de Cutervo y Querocotillo) del departamento de Cajamarca.

## **3.5. Instrumentos**

### **3.5.1. Materiales**

#### **3.5.1.1 Información Geográfica**

**Cartas Nacionales.** La información cartográfica que se utiliza para la realizar la presente investigación es la carta Nacional Hoja 13-e, 13-f y 14-f con una escala de 1/100000 elaborado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN).

**Mapas temáticos.** La información de los mapas temáticos que serán georeferenciados y procesados para la subcuenca perteneciente al río Chotano son los elaborados por el Gobierno Regional de Cajamarca, debido a que la subcuenca de estudio se ubica dentro de dicho departamento, los cuales se detallan a continuación:

- Mapa climático
- Mapa de zonas de vida
- Mapa de suelos
- Mapa de pendientes
- Mapa de cobertura vegetal
- Mapa de vegetación natural
- Mapa de deforestación
- Mapa de desertificación

- Mapa de peligro de pérdida de suelos

### 3.5.2. Equipos

Equipos básicos para el procesamiento de la información del trabajo de campo y gabinete:

- Computadora con procesador Core i7 (realización de mapas y transcripción de la información).
- *Software* para el procesamiento, automatización de la información y construcción de mapas: *ArcGis* 10.

### 3.5.3. Técnicas e instrumentos

#### 3.5.3.1. Primer objetivo específico: Pérdida anual de suelos.

- **Técnica:** Modelo USLE.
- **Instrumento:** Software *ArcGis*.
- **Propósito:** Permitirá calcular la pérdida anual de suelo mediante el proceso Algebra de mapas con los factores del método USLE.
- **Tabulación:** Estadística de gráficos agrupados y tablas de frecuencias.

#### 3.5.3.2. Segundo objetivo específico: Erosión potencial de suelos.

- **Técnica:** Modelo USLE.
- **Instrumento:** Software *ArcGis*.
- **Propósito:** Permitirá calcular la erosión potencial de la pérdida anual de suelo mediante el proceso Algebra de mapas con los factores del método USLE.
- **Tabulación:** Estadística de gráficos agrupados y tablas de frecuencias.



### 3.5.3.3. Tercer objetivo específico: Identificación de la erosión hídrica y potencial

- **Técnica:** SIG.
- **Instrumento:** Software *ArcGis*.
- **Propósito:** Permitirá identificar espacialmente las zonas de erosión hídrica y erosión potencial de la pérdida anual de suelo por efecto de las precipitaciones medias y máximas para diferentes tiempos de retorno.
- **Representación:** Mapas a escala 1:300 000.

## 3.6. Procedimientos

### 3.6.1. *Etapas de la investigación*

**3.6.1.1. Etapa 1: Recopilación de información.** En esta etapa se pretende obtener la información correspondiente a las cartas nacionales, mapas temáticos e información relacionada a la subcuenca de estudio; así como también la información de las estaciones meteorológicas cercanas y trabajos relacionados al tema de erosión hídrica, para lo cual, las acciones a seguir son: visitar el área de estudio, buscar, ordenar, clasificar y sistematizar la información existente relacionada al trabajo de investigación.

Asimismo, la mayor parte de la información en formato físico y electrónico será obtenido de las siguientes instituciones: Instituto geográfico nacional (IGN), Ministerio del ambiente (Minam), Autoridad nacional del agua (ANA), y del Gobierno Regional de Cajamarca, entre otros. Además de información derivada de investigaciones de diferentes centros de estudios universitarios tanto en Lima como en la región de Cajamarca.

### 3.6.1.2. Etapa 2: Procesamiento y análisis de la información.

**A. Procesamiento de la subcuenca de estudio.** Para determinar las dimensiones de la subcuenca de estudio, se emplea las curvas de nivel de la carta nacional del Instituto

Geográfico Nacional (IGN) y la delimitación de la cuenca hidrográfica Chamaya, datos recopilados del sitio web del ministerio del ambiente, las cuales son contrastados con la información de los mapas realizados por el Gobierno Regional de Cajamarca, una vez terminado y en base a las curvas de nivel disponibles a una equidistancia vertical de 200 m, se genera un modelo de redes irregulares de triángulos (TIN), que es una estructura vectorial utilizada para construir modelos de elevación digital del terreno (DEM) sobre la base del mapa en formato *raster*.

El TIN convertido en formato *raster* (DEM), es corregido para completar los espacios vacíos (sumideros) y evitar errores en las celdas elementales, de esta manera se forma un mosaico de terreno regular donde cada celda del mosaico es una unidad de superficie que recoge el valor medio de la variable representada (altitud).

Con las herramientas del *ArcHydro* del *software ArcGis*, se procede a calcular la dirección de flujo, las cuales se dirigen de cota mayor a cota menor, para luego determinar la acumulación del flujo en la parte baja, de esta manera es posible determinar los cauces o corrientes y segmentarlos para obtener la delimitación de la red de captación y las líneas de drenaje dentro del área de la cuenca Chamaya. Con esta información se delimita la subcuenca perteneciente al río Chotano.

El procesamiento para determinar la subcuenca del río Chotano en formato *raster* genera por defecto una delimitación con píxeles irregulares; por lo cual, es necesario un control de calidad para eliminar o completar estos píxeles, los cuales mediante la digitalización que realiza el *software ArcGis*, se incorporan o eliminan a los píxeles pequeñas áreas para que el producto final exprese una delimitación homogénea.

Con la información obtenida de las curvas de nivel, las líneas de drenaje y el área de la subcuenca de estudio (en formato vectorial), se procede a determinar los parámetros

fisiográficos y de la red de drenaje, para obtener una idea aproximada del comportamiento del flujo del agua, producto de las precipitaciones que ocurren dentro de la subcuenca de estudio.

**B. Análisis de datos para la pérdida anual de suelo y erosión potencial.** El método empleado consiste en la ecuación universal de pérdida de suelos (USLE) para determinar la tasa de erosión anual en cualquier tipo de suelo, para lo cual se utiliza la *ecuación(18)* mencionada en el marco teórico:  $E=R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$

En donde R es el factor de erosividad de la lluvia (para el presente estudio se considera las precipitaciones medias y máximas en tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años, K es el factor de erodabilidad del suelo, LS es el factor topográfico por efecto de la longitud y el grado de la pendiente, C es el factor de la cobertura vegetal y P es el factor relacionado a las técnicas de conservación del suelo. Asimismo, para un análisis de susceptibilidad de erosión potencial donde se obtiene la máxima pérdida de suelo, el factor C y el factor P es equivalente a 1; es decir, el área esta desprovista de vegetación y no se tienen prácticas de conservación de suelo.

***Análisis de las precipitaciones y determinación de los factores del método USLE.***

Para la obtención de precipitaciones máximas en periodo de retornos, se utiliza el método de Gumbel, con la información obtenida de las estaciones cercanas a la subcuenca de estudio. Mediante el método de regionalización y la aplicación de la ecuación de regresión, se completa la información faltante de las estaciones en la subcuenca para poder realizar el método de Gumbel y aplicar las ecuaciones descritas en el marco teórico para el factor R.

Para estimar el factor de erodabilidad de suelos en la subcuenca del río Chotano, se utilizan las tablas mencionadas en el marco teórico de acuerdo a las descripciones realizadas a su clasificación taxonómica basada en la interpretación de las características morfológicas,

físico-químicas y biológicas. Para el caso de las asociaciones, al ser la agrupación de dos tipos (orden) de suelo, se considera el factor K de mayor valor existente entre ambas clasificaciones, debido a que la presente investigación está orientada a la determinación de erosión máxima para valores de precipitación en tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Para estimar el factor topográfico de suelos en la subcuenca del río Chotano, se utilizan los valores mencionados en el marco teórico de acuerdo a la clasificación de los rangos de pendiente; asimismo, para aquellos rangos que abarcan diversos valores, se calcula el promedio para determinar el factor LS que corresponde a cada área.

Para estimar el factor de cobertura vegetal en la subcuenca del río Chotano, se utilizan las tablas mencionadas en el marco teórico de acuerdo a las descripciones realizadas a su clasificación, basada en la interpretación de sus características naturales como categorías puras y asociaciones de cobertura vegetal.

Para estimar el factor relacionado a las técnicas de conservación del suelo en la subcuenca del río Chotano, se utilizan los valores mencionados en el marco teórico, se considera que su valor es uno, cuando la situación es más desfavorable.

**3.6.1.3. Etapa 3: Determinación de la erosión hídrica, potencial e identificación de las zonas de erosión.** Este procedimiento se realiza mediante la digitalización y georreferenciación de los mapas temáticos e información física obtenida en la etapa de recopilación de información, así como el ordenamiento y la codificación de la información que es introducida a una base de datos en un Sistema de Información Geográfica (SIG), de estructura “vectorial”, siendo *ArcGis* el programa elegido.

A partir de la información temática, se realizan diferentes procesos digitales como interpolación, intersección, concadenación, edición de tablas de atributo, clasificación, etc.

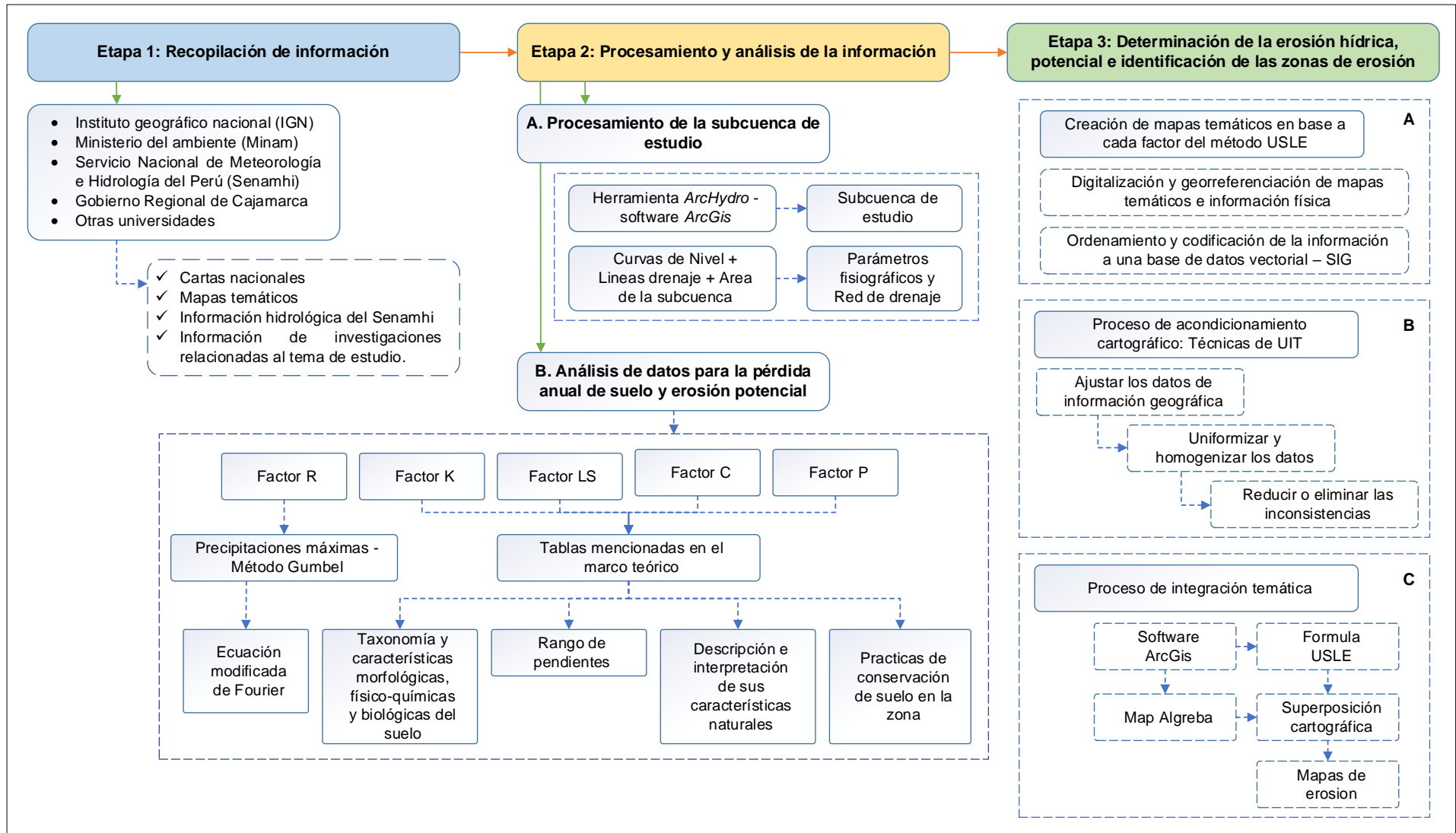
para determinar cada índice (erosividad, erodabilidad, factor topográfico y cobertura vegetal), y así obtener diferentes mapas temáticos por cada factor para aplicar la superposición de los cuatro mapas en un SIG mediante la fórmula del método USLE.

***Proceso de acondicionamiento cartográfico: Técnicas de unidades integradas de territorio - UIT.*** Para poder evaluar en forma sistemática la subcuenca perteneciente al río Chotano, se ha dividido el mapa de la subcuenca en unidades integradas de territorio (UIT). Este proceso establece la adecuación de la información geográfica para que sea uniformizada y homogeneizada con el propósito de ajustar los datos, así como reducir o eliminar las inconsistencias de la base de datos SIG.

***Proceso de integración temática.*** El método de las UIT permite la construcción de un documento cartográfico que muestra los polígonos que representan unidades geográficas delineadas de varios mapas temáticos (mapa de erosividad, erodabilidad, factor topográfico y cobertura vegetal), para su integración utilizando la técnica de superposición cartográfica del *software ArcGis* aplicando la fórmula del método USLE.

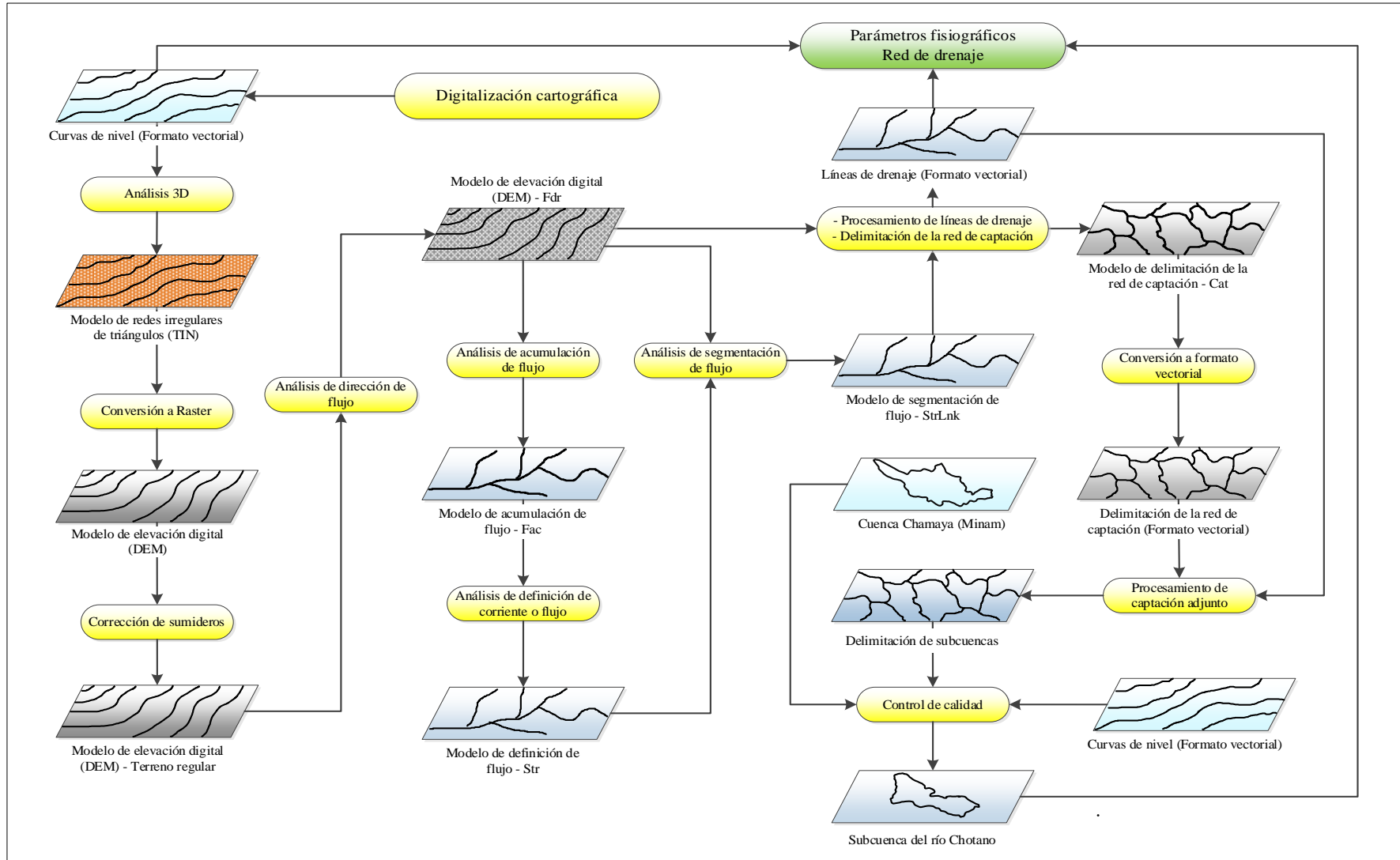
**Figura 33**

*Esquema de las etapas de la investigación.*



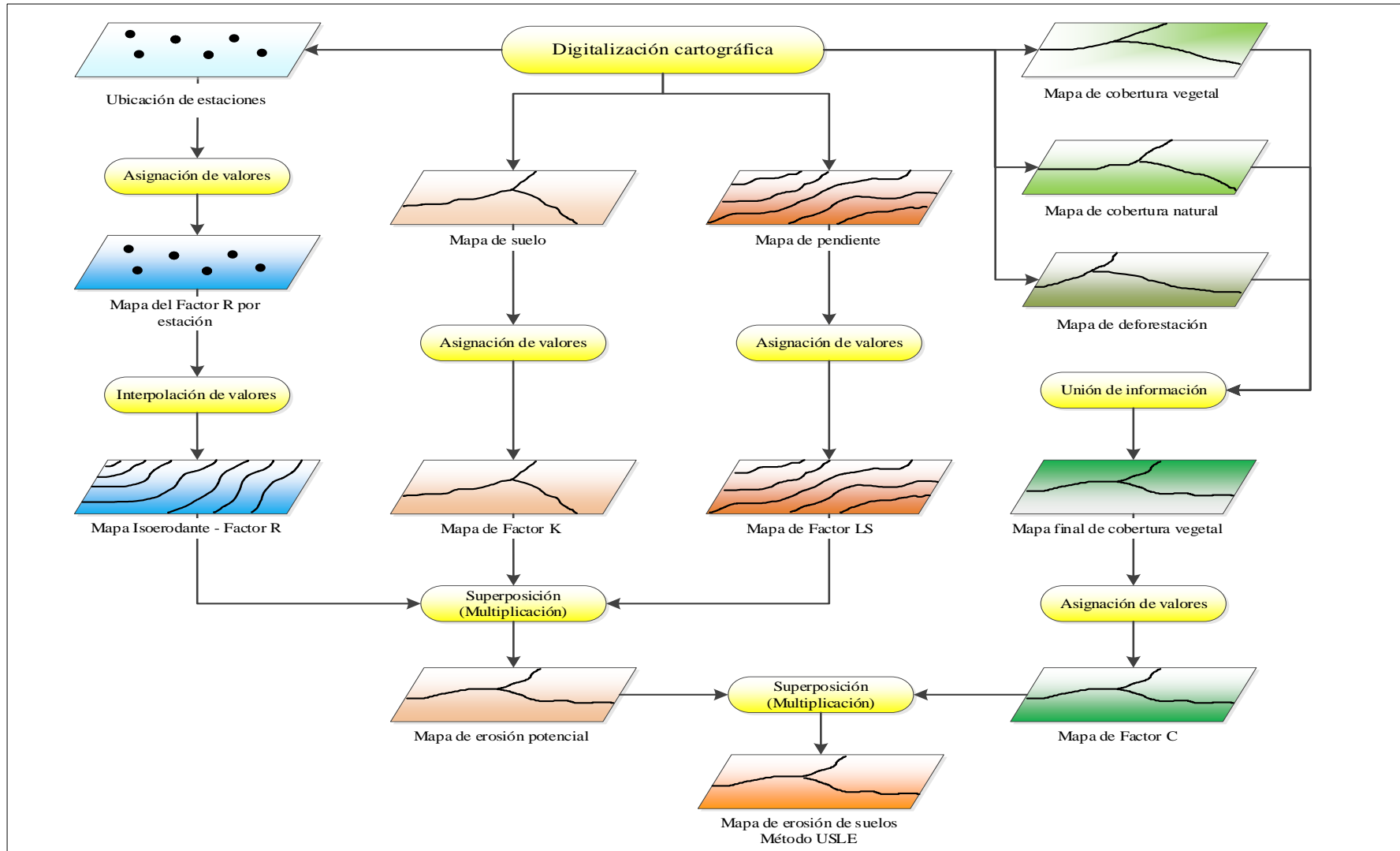
**Figura 34**

*Modelamiento para determinar la subcuenca de estudio perteneciente al río Chotano de la cuenca Chamaya.*



**Figura 35**

*Modelamiento para determinar la erosión hídrica a través del método USLE mediante la técnica SIG en la subcuenca del río Chotano.*





### 3.7. Análisis de datos

Con la finalidad de lograr los objetivos planteados al inicio del presente trabajo de investigación, en este capítulo se detallan los análisis de datos para completar la información de precipitaciones faltantes correspondientes a la subcuenca del río Chotano y determinar los factores de la erosión hídrica mediante el método USLE.

#### 3.7.1. Análisis de correlación para las estaciones meteorológicas

De las 26 estaciones meteorológicas ubicadas en Cajamarca se identificaron 9 estaciones cerca y dentro de la subcuenca del río Chotano para el análisis de correlación. Estas estaciones tienen registros de precipitaciones diarias para 31 años (1988-2018).

**Tabla 77**

*Estaciones de Cajamarca ubicadas cerca y dentro de la subcuenca del río Chotano.*

Estación meteorológica	Provincia	Distrito	Altitud m s.n.m.	WGS84 - Zona 17S	
				Latitud	Longitud
<b>Chancay Baños</b>	Santa Cruz	Chancay Baños	1 677,0	6° 34' 30,00"	78° 52' 02,00"
<b>Chotano Lajas</b>	Chota	Lajas	2 163,4	6° 33' 35',00'	78° 44' 54,00"
<b>Chugur</b>	Hualgayoc	Chugur	2 757,0	6° 40' 15,28"	78° 44' 13,81"
<b>Cochabamba</b>	Chota	Cochabamba	1 653,0	6° 27' 36,32"	78° 53' 18,97"
<b>Cutervo</b>	Cutervo	Cutervo	2 668,0	6° 22' 46,70"	78° 48' 18,44"
<b>Hacienda Pucara</b>	Jaen	Pucara	1 061,6	6° 02' 30,00"	79° 08' 02,00"
<b>Llama</b>	Chota	Llama	2 096,0	6° 30' 51,95"	79° 07' 21,43"
<b>Quebrada Shugar</b>	Hualgayoc	Bambamarca	3 292,7	6° 41' 16,00"	78° 27' 25,00"
<b>Querocotillo</b>	Cutervo	Querocotillo	1 970,0	6° 16' 25,16"	79° 02' 13,04"

Nota. Adaptado de la Dirección de redes de observación y datos del Senamhi.

A fin de obtener la ecuación de regresión para estimar la información faltante se procede a distribuir los datos de cada estación en meses y años para calcular el coeficiente de correlación mediante una tabla anual de doble entrada; de esta manera se determinan los

pares de años que presentan un mayor coeficiente de correlación; además, es necesario que uno de los años identificados con la correlación más alta posea sus datos completos.

Para los análisis de regresión es recomendable que el valor de la correlación sea mayor o igual a 0,80; por lo cual, en algunos casos se debe descartar el dato que presenta mayor dispersión; asimismo, se plantea emplear cinco ecuaciones de regresión diferentes: Lineal, grado 2, grado 3, grado 4 y grado 5; con la finalidad de seleccionar la que presente mayor aproximación entre la serie de datos de los años de estudio con un mayor valor de  $r^2$ .

Cabe precisar que, al efectuar los cálculos de regresión, los valores determinados para la precipitación media deben ser coherentes con la precipitación máxima, y la precipitación máxima debe ser coherente con la precipitación total calculada por la precipitación media; es decir, la precipitación media debe ser menor a la precipitación máxima y a su vez, la precipitación máxima debe ser menor o igual a la precipitación total del mes del año de estudio.

En caso de que la precipitación media sea mayor a la precipitación máxima o que la precipitación máxima sea mayor a la precipitación total o acumulada, se descarta dicho análisis y se procede a realizar el estudio con los datos del siguiente año que presente una mayor correlación con el año de estudio.

A continuación, se presenta una serie de ejemplos para el análisis de la correlación con los datos de precipitación media y máxima para calcular la información faltante, tomando como referencia a la estación Chotano Lajas y Cutervo.

**3.7.1.1. Análisis de correlación y estimación de datos para la estación Chotano Lajas.** Con los datos históricos mensuales de 31 años, se procede a calcular los coeficientes de correlación para las precipitaciones medias y máximas de la estación Chotano Lajas:

**Tabla 78**

*Datos de precipitaciones para la estación Chotano Lajas.*

Estación : CHOTANO LAJAS, Tipo Convencional - Meteorológica, altitud: 2 163,4 m s.n.m.																															
Datos de precipitación media (mm)																															
Mes/Año	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	5,73	5,48	1,80	0,36	1,65	2,89	3,52	0,92	1,75	1,41	4,59	3,53	1,58	3,41	2,24	2,21	2,79	0,93	2,69	2,17	3,19	5,23	1,11	2,21	7,83	3,65	1,25	4,80	3,48	3,45	3,87
Febrero	4,79	5,08	2,82	2,72	2,31	SD	4,46	2,15	4,89	5,32	4,33	9,17	4,80	1,78	2,49	3,63	1,17	4,51	6,54	0,95	9,23	3,37	5,24	4,33	6,59	3,08	3,91	2,19	4,70	1,77	3,43
Marzo	2,77	6,49	1,98	6,00	2,60	6,98	4,98	3,78	4,55	1,99	6,93	3,97	4,15	8,73	5,63	3,18	2,17	7,26	8,28	5,15	3,60	10,48	6,44	2,68	4,75	6,20	6,00	7,58	4,02	9,21	2,80
Abril	5,47	3,78	2,80	4,56	5,05	3,70	3,76	3,59	2,45	2,86	8,23	2,07	4,48	4,26	3,77	2,48	3,66	2,15	2,72	4,48	3,43	3,92	4,42	4,70	6,53	2,94	2,46	2,42	3,73	3,71	3,91
Mayo	3,24	0,73	2,54	0,36	1,22	2,21	1,35	2,14	1,63	0,55	2,15	1,32	3,84	2,25	2,17	0,79	2,61	0,33	0,11	2,71	1,96	2,72	1,63	0,83	2,70	6,93	5,01	2,65	1,27	4,10	4,70
Junio	1,32	1,64	0,73	0,19	0,64	0,23	0,69	0,14	0,95	0,91	0,01	4,67	2,90	0,16	0,07	3,24	0,04	0,50	0,51	0,00	0,60	0,91	0,92	0,06	0,03	0,53	0,48	0,56	1,36	1,95	0,31
Julio	0,43	0,58	0,12	0,71	0,94	0,32	0,09	1,69	0,13	0,01	0,28	0,60	0,07	0,10	0,36	0,24	0,84	0,05	0,84	0,34	0,21	0,12	0,95	0,65	0,28	0,61	0,55	0,25	0,00	0,00	0,00
Agosto	0,83	1,35	0,43	0,00	0,46	SD	0,00	1,32	0,81	0,02	0,86	0,55	0,59	0,00	0,06	0,24	0,06	0,19	0,48	0,98	1,59	0,32	0,67	0,22	0,02	1,35	0,60	0,08	0,00	2,91	0,00
Setiembre	1,70	5,04	0,21	1,27	4,85	2,68	2,57	1,38	2,57	0,36	2,22	4,78	2,25	4,22	0,68	3,52	2,95	1,34	2,53	1,21	4,63	1,59	2,03	2,41	0,82	0,30	1,21	0,27	1,78	1,93	1,88
Octubre	1,35	6,97	6,93	1,61	2,96	5,14	0,59	5,44	6,75	0,95	3,27	3,06	0,26	3,77	2,49	2,36	3,07	5,17	2,13	5,08	6,41	3,36	1,98	1,81	4,14	4,71	2,10	5,40	2,39	3,27	3,70
Noviembre	3,27	2,53	3,88	1,60	1,42	2,61	4,41	2,12	1,97	3,40	2,38	1,97	1,67	3,24	4,16	4,83	5,93	2,53	5,62	4,56	4,06	4,39	1,38	1,71	4,16	0,52	3,95	5,22	1,61	2,20	5,79
Diciembre	1,98	0,33	1,04	1,62	0,93	3,78	2,15	4,80	0,00	3,90	4,64	4,01	4,70	3,17	3,27	3,24	3,44	3,15	3,12	1,50	0,62	2,41	1,53	4,24	2,75	1,72	2,91	0,76	4,19	1,20	1,14
Datos de precipitación máxima (mm)																															
Mes/Año	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	28,60	32,80	24,50	3,00	14,30	17,10	20,30	6,50	19,30	10,70	28,10	32,00	18,70	22,70	20,90	32,50	26,20	7,50	29,60	25,30	49,00	24,00	15,10	12,30	26,70	50,40	16,60	35,00	20,30	29,20	34,40
Febrero	24,40	51,50	14,00	31,10	32,20	SD	23,30	21,60	22,70	28,60	28,60	32,40	18,60	11,80	35,50	27,90	18,00	22,10	36,20	11,20	35,00	20,10	57,70	20,20	48,50	14,60	22,10	18,00	32,40	18,70	40,00
Marzo	21,20	82,10	9,20	22,70	18,70	20,90	26,60	38,10	20,50	23,00	36,80	37,20	17,00	36,50	26,60	26,00	27,00	37,50	42,40	22,30	20,40	43,90	34,20	19,80	36,40	25,70	24,10	31,40	37,50	41,80	20,00
Abril	31,20	25,30	18,80	33,90	37,80	13,00	19,30	21,20	17,90	25,50	63,40	15,00	35,40	42,50	24,20	32,60	17,60	12,30	30,30	34,40	11,80	29,90	22,30	14,30	47,60	18,40	16,80	19,00	31,50	22,20	38,00
Mayo	23,80	17,00	22,20	4,50	13,00	14,20	16,00	15,20	10,00	6,10	28,20	7,80	24,50	27,10	24,00	9,60	43,30	4,00	1,20	25,20	12,70	23,20	13,50	19,50	18,90	36,10	34,60	30,80	19,60	23,30	19,50
Junio	21,30	25,50	5,20	3,20	11,80	6,80	13,80	3,00	15,00	10,70	0,30	41,40	27,50	1,70	1,90	29,10	0,80	13,60	9,20	0,00	10,80	15,60	10,30	0,80	0,60	10,90	3,10	16,70	29,40	25,40	5,80
Julio	4,40	10,20	3,20	17,60	14,60	5,20	2,40	19,30	2,10	0,40	5,10	9,00	0,90	1,70	3,00	4,50	14,70	1,40	13,60	4,70	2,60	1,40	16,90	8,20	4,80	18,80	8,70	3,20	0,00	0,00	0,00
Agosto	12,50	31,70	10,70	0,00	6,50	SD	0,00	20,70	10,40	0,30	16,60	8,10	13,00	0,00	1,30	4,30	1,20	5,20	10,10	12,20	17,60	4,10	12,40	3,40	0,60	17,60	11,90	2,50	0,00	33,40	0,00
Setiembre	18,00	35,70	1,70	13,20	28,10	18,10	31,80	15,20	21,70	6,60	18,50	27,70	7,70	20,00	11,70	17,50	29,00	28,50	37,10	12,30	35,50	36,20	19,40	17,80	15,80	6,00	11,10	3,50	26,70	14,00	32,00
Octubre	10,50	44,00	43,30	10,90	26,20	25,20	7,90	20,20	31,10	14,50	29,10	53,30	3,30	21,00	24,30	18,60	18,80	22,20	18,40	41,20	43,40	26,40	20,00	11,80	23,10	17,80	17,70	41,10	15,80	24,40	35,70
Noviembre	20,50	33,30	16,90	12,80	14,50	19,20	22,00	9,10	17,50	14,20	19,20	16,70	9,00	15,00	24,20	21,10	27,70	29,60	32,40	32,70	26,20	54,10	8,60	11,60	31,40	5,70	40,00	37,40	16,80	32,00	46,50
Diciembre	24,00	4,50	10,20	23,10	7,70	25,80	17,60	17,50	5,80	48,30	69,10	19,20	29,10	16,50	39,50	27,40	19,30	15,80	26,70	12,90	8,20	27,20	13,10	28,80	35,70	10,30	16,50	19,70	17,00	18,00	12,40
Datos de precipitación total acumulada (mm)																															
Mes/Año	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	177,60	169,80	55,90	11,30	51,20	89,50	109,10	28,50	54,20	43,70	142,20	109,30	49,10	105,70	69,30	68,40	86,50	28,90	83,50	67,40	98,90	162,20	34,50	68,60	242,60	113,10	38,60	148,70	108,00	106,90	119,90
Febrero	139,00	142,10	79,00	76,10	67,00	SD	124,80	60,30	141,80	149,00	121,10	256,70	139,30	49,70	69,70	101,50	33,80	126,40	183,20	26,70	267,70	94,30	146,80	121,20	191,20	86,20	109,60	61,40	136,40	49,50	95,90
Marzo	85,80	201,30	61,50	185,90	80,60	216,30	154,30	117,30	141,00	61,80	214,70	123,00	128,50	270,60	174,60	98,50	67,30	225,10	256,60	159,60	111,60	325,00	199,50	83,10	147,40	192,30	186,10	234,90	124,50	285,40	86,80
Abril	164,00	113,40	84,00	136,70	151,60	111,10	112,90	107,80	73,40	85,70	246,90	62,10	134,30	127,80	113,00	74,30	109,80	64,50	81,70	134,40	102,90	117,60	132,70	141,10	196,00	88,30	73,90	72,50	112,00	111,40	117,20
Mayo	100,40	22,50	78,80	11,20	37,90	68,50	41,70	66,30	50,50	17,20	66,60	40,80	119,00	69,90	67,40	24,50	81,00	10,20	3,50	83,90	60,70	84,40	50,40	25,70	83,80	214,70	155,40	82,30	39,50	127,10	145,60
Junio	39,60	49,20	21,90	5,80	19,30	6,80	20,80	4,20	28,40	27,40	0,30	140,20	86,90	4,70	2,10	97,20	1,10	14,90	15,40	0,00	18,10	27,30	27,50	1,80	1,00	15,90	14,50	16,70	40,90	58,60	9,30
Julio	13,30	18,00	3,70	21,90	29,00	10,00	2,80	52,30	4,00	0,40	8,70	18,50	2,10	3,20	11,10	7,40	26,10	1,40	26,00	10,40	6,50	3,70	29,30	20,20	8,70	18,80	16,90	7,70	0,00	0,00	0,00
Agosto	25,60	41,90	13,20	0,00	14,30	SD	0,00	41,00	25,00	0,50	26,80	16,90	18,30	0,00	1,80	7,30	1,80	5,80	14,90	30,50	49,40	9,90	20,70	6,90	0,60	41,70	18,70	2,50	0,00	90,10	0,00
Setiembre	51,10	151,10	6,20	38,00	145,50	80,30	77,10	41,50	77,10	10,80	66,70	143,50	67,50	126,70	20,30	105,60	88,40	40,10	75,90	36,20	139,00	47,60	60,80	72,20	24,50	9,10	36,30	8,20	53,30	57,90	56,30
Octubre	41,70	216,20	214,80	49,80	91,70	159,40	18,30	168,50	209,10	29,60	101,40	94,90	8,20	117,00	77,20	73,10	95,10	160,20	66,00	157,40	198,80	104,20	61,40	56,10	128,40	146,10	65,20	167,50	74,10	101,40	114,80
Noviembre	98,20	75,80	116,40	47,90	42,70	78,30	132,40	63,50	59,10	101,90	71,40	59,10	50,20	97,30	124,80	144,80	178,00	75,90	168,70	136,80	121,70	131,80	41,30	51,30	124,90	15,60	118,40	156,70	48,20	66,10	173,70
Diciembre	61,50	10,10	32,20	50,20	28,70	117,30	66,50	148,90	0,00	120,80	143,80	124,20	145,80	98,20	101,40	100,50	106,60	97,50	96,60	46,60	19,30	74,80	47,30	131,40	85,30	53,					



**Tabla 80**

*Coefficiente de correlación entre los datos históricos de la precipitación máxima para la estación Chotano Lajas.*

Estación : CHOTANO LAJAS, Tipo Convencional - Meteorológica, altitud: 2 163,4 m s.n.m.																																
Coeficiente de correlación - Datos de precipitación máxima																																
Año	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
1988	1,00																															
1989	0,07	1,00																														
1990	0,09	0,12	1,00																													
1991	0,29	0,19	-0,12	1,00																												
1992	0,27	0,35	0,22	0,66	1,00																											
1993	0,16	0,33	0,46	0,16	0,04	1,00																										
1994	0,63	0,42	-0,17	0,38	0,44	0,37	1,00																									
1995	-0,15	0,59	-0,03	0,53	0,28	0,32	0,07	1,00																								
1996	0,18	0,68	0,56	0,10	0,63	0,47	0,43	0,12	1,00																							
1997	0,52	0,04	0,05	0,68	0,18	0,60	0,39	0,25	0,06	1,00																						
1998	0,57	-0,06	0,24	0,61	0,27	0,57	0,29	0,36	0,03	0,81	1,00																					
1999	0,02	0,56	0,38	-0,01	0,29	0,35	0,25	0,02	0,77	0,18	-0,09	1,00																				
2000	0,82	-0,19	-0,07	0,27	0,06	-0,06	0,24	-0,10	-0,16	0,54	0,59	-0,12	1,00																			
2001	0,60	0,35	0,35	0,46	0,53	0,40	0,56	0,42	0,39	0,36	0,67	0,11	0,40	1,00																		
2002	0,55	0,19	0,38	0,59	0,29	0,83	0,50	0,29	0,27	0,83	0,76	0,16	0,34	0,55	1,00																	
2003	0,78	0,25	0,13	0,42	0,38	0,26	0,60	-0,13	0,43	0,65	0,48	0,51	0,60	0,47	0,52	1,00																
2004	0,31	0,10	0,25	0,08	0,16	0,36	0,56	0,11	0,14	0,06	0,25	-0,13	-0,03	0,61	0,51	0,01	1,00															
2005	0,12	0,73	-0,02	0,35	0,35	0,58	0,69	0,38	0,62	0,35	0,13	0,52	-0,16	0,35	0,40	0,38	0,24	1,00														
2006	0,36	0,58	-0,13	0,61	0,50	0,49	0,76	0,37	0,47	0,48	0,37	0,30	-0,02	0,46	0,50	0,57	0,22	0,76	1,00													
2007	0,24	0,24	0,82	0,12	0,37	0,55	0,14	0,16	0,55	0,11	0,43	0,16	-0,03	0,68	0,45	0,19	0,47	0,25	0,20	1,00												
2008	0,14	0,47	0,53	-0,16	0,33	0,49	0,36	-0,13	0,80	-0,08	-0,08	0,59	-0,34	0,16	0,23	0,30	0,24	0,36	0,42	0,43	1,00											
2009	0,43	0,43	0,15	0,26	0,26	0,61	0,76	0,11	0,48	0,35	0,33	0,23	0,06	0,60	0,53	0,45	0,57	0,81	0,66	0,55	0,31	1,00										
2010	0,18	0,60	-0,01	0,64	0,60	0,22	0,36	0,55	0,41	0,35	0,15	0,30	0,02	0,20	0,45	0,28	0,05	0,37	0,52	-0,06	0,27	0,04	1,00									
2011	0,41	0,07	0,04	0,56	0,21	0,68	0,57	0,40	0,02	0,72	0,73	-0,04	0,26	0,53	0,85	0,28	0,63	0,34	0,48	0,19	0,05	0,43	0,38	1,00								
2012	0,65	0,33	0,28	0,79	0,59	0,59	0,59	0,37	0,38	0,75	0,75	0,13	0,39	0,68	0,88	0,65	0,39	0,45	0,70	0,49	0,24	0,56	0,59	0,69	1,00							
2013	0,29	0,08	0,39	-0,30	-0,15	-0,06	-0,06	-0,01	0,00	-0,21	0,06	-0,02	0,15	0,33	0,07	0,08	0,37	-0,41	-0,16	0,25	0,28	-0,17	-0,02	0,03	0,04	1,00						
2014	0,29	0,20	0,36	0,10	0,01	0,39	0,33	0,12	0,14	0,14	0,22	-0,22	0,00	0,41	0,57	-0,01	0,71	0,32	0,17	0,60	0,14	0,64	0,08	0,41	0,48	0,14	1,00					
2015	0,34	0,32	0,76	-0,05	0,04	0,55	0,24	-0,04	0,50	0,24	0,24	0,44	0,07	0,49	0,56	0,41	0,49	0,33	0,15	0,75	0,44	0,58	-0,02	0,22	0,44	0,39	0,64	1,00				
2016	0,69	0,55	-0,03	0,46	0,56	0,17	0,80	0,18	0,54	0,46	0,31	0,50	0,51	0,61	0,45	0,77	0,26	0,61	0,57	0,13	0,22	0,56	0,52	0,37	0,60	0,00	0,14	0,31	1,00			
2017	0,36	0,62	0,27	-0,24	-0,18	0,43	0,20	0,20	0,39	0,08	0,12	0,26	0,22	0,32	0,16	0,29	0,04	0,42	0,20	0,39	0,27	0,47	-0,02	-0,08	0,18	0,23	0,39	0,53	0,33	1,00		
2018	0,48	0,35	0,49	0,36	0,66	0,49	0,63	-0,06	0,72	0,26	0,29	0,31	0,00	0,54	0,58	0,52	0,49	0,52	0,61	0,69	0,67	0,70	0,33	0,32	0,71	0,01	0,55	0,58	0,49	0,20	1,00	

*A. Estimación de datos faltantes para precipitaciones medias de la estación Chotano Lajas del año 1993.* Con los datos de la precipitación media, se observa el mayor coeficiente de correlación de  $r = 0,93$  entre los años 1993 y 2005.

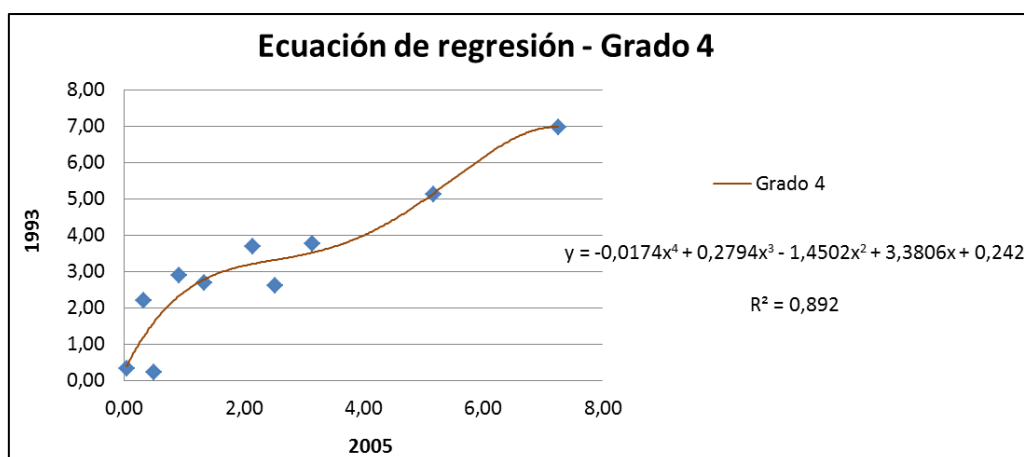
Se procede a determinar las ecuaciones de regresión entre los años 1993 y 2005 para calcular la información faltante, de la cual, la línea de tendencia de grado 4 se aproxima más entre la serie de datos en comparación con las demás ecuaciones de regresión.

La ecuación de grado 4 es la siguiente:

$$y = -0,0174x^4 + 0,2794x^3 - 1,4502x^2 + 3,3806x + 0,242 \quad (45)$$

**Figura 36**

*Ecuación de regresión de grado 4 para los datos de la precipitación media - 1993 vs 2005.*



**Tabla 81**

*Valores estimados de precipitación media para la ecuación de Grado 4 - Año 1993.*

Mes	Año		Ecuación Grado 4
	2005	1993	
<b>Enero</b>	0,93	2,89	2,34
<b>Febrero</b>	4,51	<b>SD</b>	<b>4,42</b>
<b>Marzo</b>	7,26	6,98	6,92
<b>Abril</b>	2,15	3,70	3,21

<b>Datos de precipitación media (mm)</b>			
<b>Mes</b>	<b>Año</b>		<b>Ecuación</b>
<b>Mayo</b>	0,33	2,21	1,21
<b>Junio</b>	0,50	0,23	1,60
<b>Julio</b>	0,05	0,32	0,41
<b>Agosto</b>	0,19	<b>SD</b>	<b>0,83</b>
<b>Setiembre</b>	1,34	2,68	2,78
<b>Octubre</b>	5,17	5,14	5,14
<b>Noviembre</b>	2,53	2,61	3,32
<b>Diciembre</b>	3,15	3,78	3,52

Nota. SD: Sin datos para este mes, al emplear la ecuación de regresión de grado 4 se comprueba que los valores obtenidos se aproximan al valor de los datos de la precipitación media de 1993.

El valor obtenido, mediante el método de correlación entre diferentes años, para el mes de febrero y agosto es de 4,42 mm y 0,83 mm respectivamente.

**B. Estimación de datos faltantes para precipitaciones máximas de la estación Chotano Lajas del año 1993.** Con los datos de la precipitación máxima, se observa el mayor coeficiente de correlación de  $r = 0,83$  entre los años 1993 y 2002.

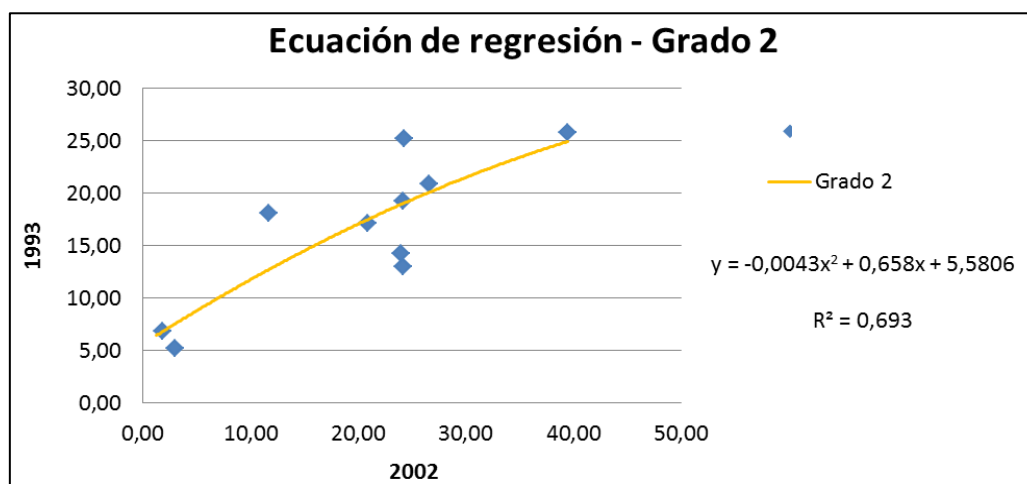
Se procede a determinar las ecuaciones de regresión entre los años 1993 y 2002 para calcular la información faltante, de la cual, la línea de tendencia de grado 2 se aproxima más entre la serie de datos en comparación con las demás ecuaciones de regresión.

La ecuación de grado 2 es la siguiente:

$$y = -0,0043x^2 + 0,658x + 5,5806 \quad (46)$$

**Figura 37**

*Ecuación de regresión de grado 2 para los datos de la precipitación máxima - 1993 vs 2002.*

**Tabla 82**

*Valores estimados de precipitación máxima para la ecuación de Grado 2 - Año 1993.*

Mes	Año		Ecuación
	2002	1993	Grado 2
<b>Enero</b>	20,90	17,10	17,45
<b>Febrero</b>	35,50	<b>SD</b>	<b>23,52</b>
<b>Marzo</b>	26,60	20,90	20,04
<b>Abril</b>	24,20	13,00	18,99
<b>Mayo</b>	24,00	14,20	18,90
<b>Junio</b>	1,90	6,80	6,82
<b>Julio</b>	3,00	5,20	7,52
<b>Agosto</b>	1,30	<b>SD</b>	<b>6,43</b>
<b>Setiembre</b>	11,70	18,10	12,69
<b>Octubre</b>	24,30	25,20	19,03
<b>Noviembre</b>	24,20	19,20	18,99
<b>Diciembre</b>	39,50	25,80	24,86

Nota. SD: Sin datos para este mes, al emplear la ecuación de regresión de grado 2 se comprueba que los valores obtenidos se aproximan al valor de los datos de la precipitación máxima de 1993. El valor obtenido, mediante el método de correlación entre diferentes años, para febrero y agosto es de 23,52 mm y 6,43 mm respectivamente.



**3.7.1.2. Estimación de datos faltantes para la estación Cutervo.** Luego de realizar el procedimiento para determinar los coeficientes de correlación mostrados en el ítem 3.7.1.1. se procede, a modo de ejemplo, calcular algunos datos faltantes de precipitación media y máxima para los años 1991, 2011 y 2017 de la estación Cutervo.

**A. Estimación de datos faltantes para precipitaciones medias de la estación Cutervo del año 1991.** Con los datos de la precipitación media se determina el mayor coeficiente de correlación de  $r = 0,88$  entre los años 1991 y 1993; asimismo, se descartan los datos que presentan una mayor dispersión, correspondiente al mes de octubre, para finalmente obtener un coeficiente de  $r = 0,91$ .

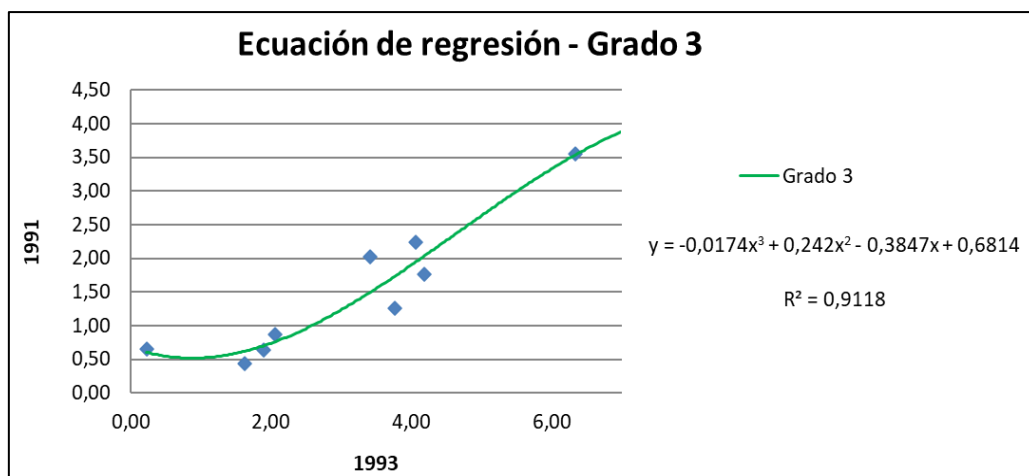
Se procede a determinar las ecuaciones de regresión entre los años 1991 y 1993 para calcular la información faltante, de la cual, la línea de tendencia de grado 3 se aproxima más entre la serie de datos en comparación con las demás ecuaciones de regresión.

La ecuación de grado 3 es la siguiente:

$$y = -0,0174x^3 + 0,242x^2 - 0,3847x + 0,6814 \quad (47)$$

### Figura 38

*Ecuación de regresión de grado 3 para los datos de la precipitación media - 1991 vs 1993.*



**Tabla 83**

*Valores estimados de precipitación media para la ecuación de Grado 3 - Año 1991.*

<b>Datos de precipitación media (mm)</b>			
<b>Mes</b>	<b>Año</b>		<b>Ecuación</b>
	<b>1993</b>	<b>1991</b>	<b>Grado 3</b>
<b>Enero</b>	3,76	1,26	1,73
<b>Febrero</b>	4,07	2,24	1,95
<b>Marzo</b>	10,46	<b>SD</b>	<b>3,22</b>
<b>Abril</b>	4,23	<b>SD</b>	<b>2,07</b>
<b>Mayo</b>	2,06	0,87	0,76
<b>Junio</b>	0,23	0,65	0,61
<b>Julio</b>	1,63	0,44	0,62
<b>Agosto</b>	1,89	0,64	0,70
<b>Setiembre</b>	4,19	1,76	2,04
<b>Noviembre</b>	3,41	2,03	1,49
<b>Diciembre</b>	6,34	3,56	3,54

Nota. SD: Sin datos para este mes, al emplear la ecuación de regresión de grado 3 se comprueba que los valores obtenidos se aproximan al valor de los datos de la precipitación media de 1991. El valor obtenido, mediante el método de correlación entre diferentes años, para marzo y abril es de 3,22 mm y 2,07 mm respectivamente.

**B. Estimación de datos faltantes para precipitaciones medias de la estación Cutervo del año 2017.** Con los datos de la precipitación media se obtiene el mayor coeficiente de correlación de  $r = 0,95$  entre los años 2001 y 2017.

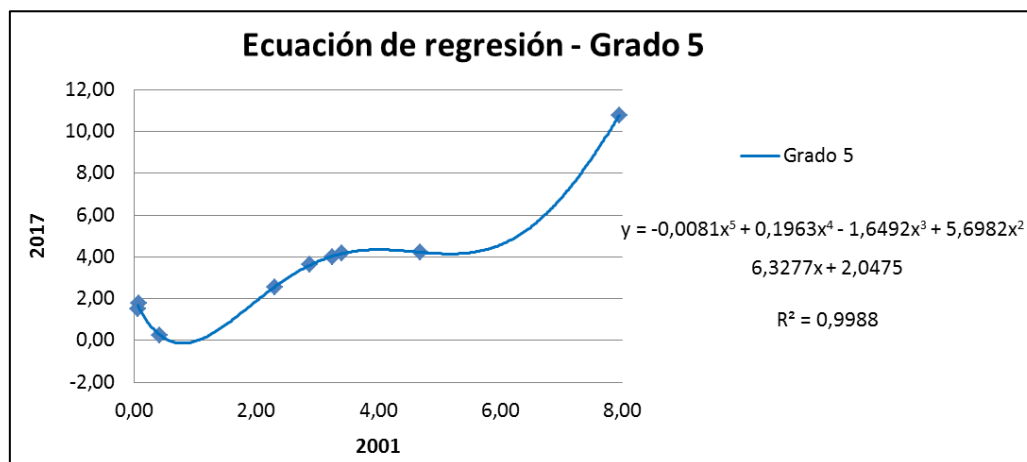
Se procede a determinar las ecuaciones de regresión entre los años 2001 y 2017 para completar la información faltante, de la cual, la línea de tendencia de grado 5 se aproxima más entre la serie de datos en comparación con las demás ecuaciones de regresión.

La ecuación de grado 5 es la siguiente:

$$y = -0,0081x^5 + 0,1963x^4 - 1,6492x^3 + 5,6982x^2 - 6,3277x + 2,0475 \quad (48)$$

**Figura 39**

*Ecuación de regresión de grado 5 para los datos de la precipitación media - 2017 vs 2001.*

**Tabla 84**

*Valores estimados de precipitación media para la ecuación de Grado 5 - Año 2017.*

<b>Datos de precipitación media (mm)</b>			
<b>Mes</b>	<b>Año</b>		<b>Ecuación</b>
	<b>2001</b>	<b>2017</b>	<b>Grado 5</b>
<b>Enero</b>	4,69	4,22	4,17
<b>Febrero</b>	2,89	3,64	3,61
<b>Marzo</b>	7,96	10,77	10,17
<b>Abril</b>	3,25	3,99	4,02
<b>Mayo</b>	3,41	4,17	4,14
<b>Junio</b>	0,08	1,79	1,58
<b>Julio</b>	0,43	0,24	0,26
<b>Agosto</b>	0,06	1,49	1,69
<b>Setiembre</b>	2,31	2,56	2,56
<b>Octubre</b>	3,84	<b>SD</b>	<b>4,31</b>
<b>Noviembre</b>	3,05	<b>SD</b>	<b>3,81</b>
<b>Diciembre</b>	3,65	<b>SD</b>	<b>4,26</b>

Nota. SD: Sin datos para este mes, al emplear la ecuación de regresión de grado 5 se comprueba que los valores obtenidos se aproximan al valor de los datos de la precipitación media de 2017. El valor obtenido, mediante el método de correlación entre diferentes años, para octubre, noviembre y diciembre es de 4,31 mm, 3,81 mm y 4,26 mm respectivamente.

**C. Estimación de datos faltantes para precipitaciones máximas de la estación Cutervo del año 1991.** Con los datos de la precipitación máxima se determina el coeficiente de correlación de  $r = 0,79$  entre los años 1991 y 2011; debido a que es recomendable para el análisis de regresión que uno de los años posea sus datos completos, se realiza el estudio con el siguiente año con el mayor valor de correlación, siendo el año 1997 con un coeficiente de  $r = 0,77$ ; asimismo, para lograr un  $r > 0,80$  se descarta el dato con una mayor dispersión, correspondiente al mes de enero, para finalmente obtener un valor de  $r = 0,84$ .

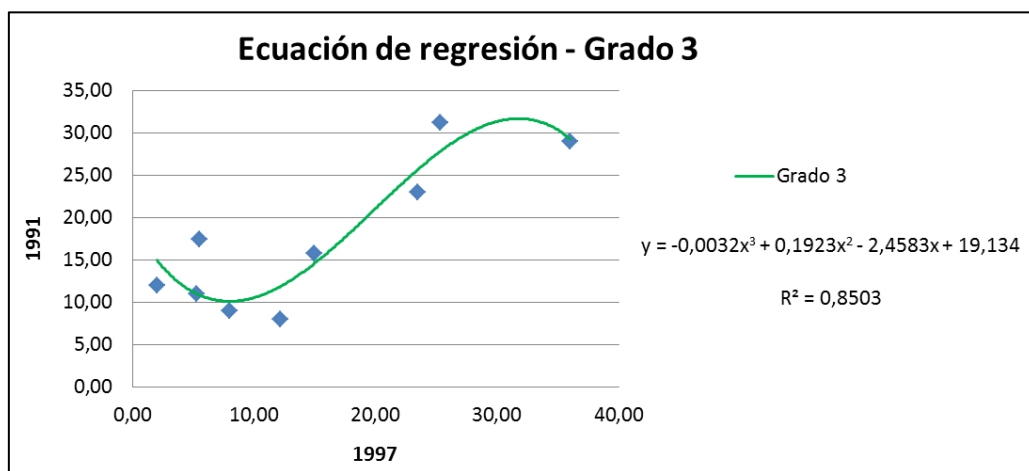
Se procede a determinar las ecuaciones de regresión entre los años 1991 y 1997 para calcular la información faltante, de la cual, la línea de tendencia de grado 3 se aproxima más entre la serie de datos en comparación con las demás ecuaciones de regresión.

La ecuación de grado 3 es la siguiente:

$$y = 0,0348x^3 - 0,2827x^2 + 1,16x + 0,3663 \quad (49)$$

#### Figura 40

*Ecuación de regresión de grado 3 para los datos de la precipitación máxima - 1991 vs 1997.*



**Tabla 85**

*Valores estimados de precipitación máxima para la ecuación de Grado 3 - Año 1991.*

<b>Datos de precipitación máxima (mm)</b>			
<b>Mes</b>	<b>Año</b>		<b>Ecuación</b>
	<b>1997</b>	<b>1991</b>	<b>Grado 3</b>
<b>Febrero</b>	36,00	29,00	30,56
<b>Marzo</b>	20,80	<b>SD</b>	<b>22,40</b>
<b>Abril</b>	13,40	<b>SD</b>	<b>13,02</b>
<b>Mayo</b>	8,00	9,00	10,14
<b>Junio</b>	12,20	8,00	11,95
<b>Julio</b>	2,00	12,00	14,96
<b>Agosto</b>	5,30	11,00	11,03
<b>Setiembre</b>	5,50	17,40	10,90
<b>Octubre</b>	23,50	23,00	26,03
<b>Noviembre</b>	15,00	15,80	14,73
<b>Diciembre</b>	25,30	31,20	28,21

Nota. SD: Sin datos para este mes, al emplear la ecuación de regresión de grado 3 se comprueba que los valores obtenidos se aproximan al valor de los datos de la precipitación máxima de 1991. El valor obtenido, mediante el método de correlación entre diferentes años, para marzo y abril es de 22,40 mm y 13,02 mm respectivamente.

**5.1.2.4. Estimación de datos faltantes para precipitaciones máximas de la estación Cutervo del año 2011.** Con los datos de la precipitación máxima se determina el mayor coeficiente de correlación de  $r = 0,83$  entre los años 2011 y 2012. Se descarta el dato de diciembre porque presenta una mayor dispersión, obteniendo un coeficiente de  $r = 0,94$ .

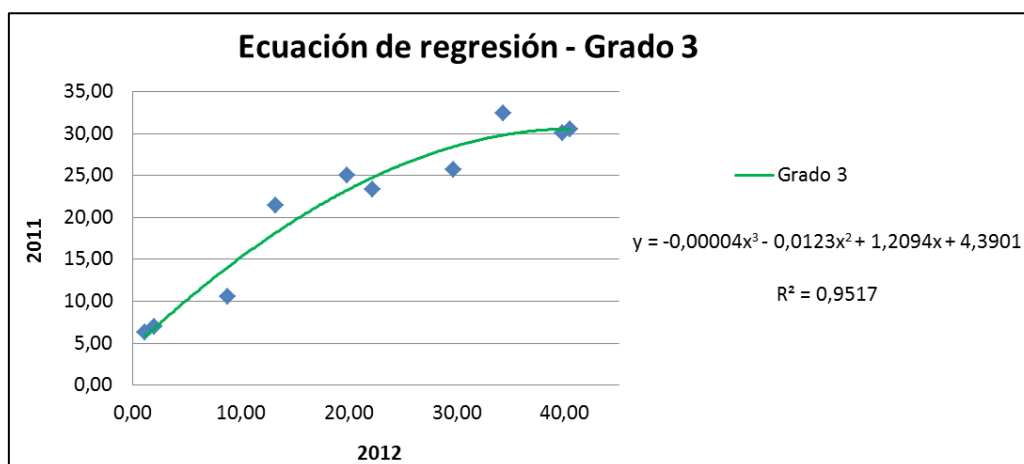
Se procede a determinar las ecuaciones de regresión entre los años 2011 y 2012 para calcular la información faltante, de la cual, la línea de tendencia de grado 3 se aproxima más entre la serie de datos en comparación con las demás ecuaciones de regresión.

La ecuación de grado 3 es la siguiente:

$$y = -0,00004x^3 - 0,0123x^2 + 1,2094x + 4,3901 \quad (50)$$

**Figura 41**

*Ecuación de regresión de grado 3 para los datos de la precipitación máxima - 2011 vs 2012.*

**Tabla 86**

*Valores estimados de precipitación máxima para la ecuación de Grado 3 - Año 2011.*

<b>Datos de precipitación máxima (mm)</b>			
<b>Mes</b>	<b>Año</b>		<b>Ecuación</b>
	<b>2012</b>	<b>2011</b>	<b>Grado 3</b>
<b>Enero</b>	40,50	30,50	30,54
<b>Febrero</b>	19,90	25,00	23,27
<b>Marzo</b>	34,30	32,40	29,79
<b>Abril</b>	29,70	25,70	28,41
<b>Mayo</b>	8,80	10,60	14,05
<b>Junio</b>	1,20	6,30	5,82
<b>Julio</b>	2,00	7,00	6,76
<b>Agosto</b>	4,00	<b>SD</b>	<b>9,03</b>
<b>Setiembre</b>	22,20	23,30	24,74
<b>Octubre</b>	39,80	30,10	30,52
<b>Noviembre</b>	13,30	21,40	18,21

Nota. SD: Sin datos para este mes, al emplear la ecuación de regresión de grado 3 se comprueba que los valores obtenidos se aproximan al valor de los datos de la precipitación máxima de 2011. El valor obtenido, mediante el método de correlación entre diferentes años, para agosto es de 9,03 mm.

**Observaciones.** En la estimación de datos faltantes para la precipitación máxima del año 1991, se obtiene un mayor coeficiente de correlación de  $r = 0,81$  entre los años 1991 y 2014.

Al efectuar los cálculos de regresión, los valores determinados para la ecuación de grado 2 se aproximan más a los datos de la precipitación máxima de 1991, determinando un valor de 118,93 mm para el mes de marzo; sin embargo, al realizar los análisis de regresión para la precipitación media, se obtiene un valor de 3,22 mm (*ver Tabla 83*), estimando una precipitación acumulada de 99,82 mm.

Al ser la precipitación acumulada menor a la precipitación máxima, se descarta el análisis con el año 2014 y se procede a realizar el estudio con los datos del siguiente año que presente una mayor correlación, siendo el año 2011 con un coeficiente de  $r = 0,79$ ; sin embargo, al no poseer sus datos completos se selecciona al año 1997 con un  $r = 0,77$  (*ver ítem 3.7.1*).

Cabe mencionar, que el siguiente mayor valor de correlación de  $r = 0,77$  también se obtiene entre los años 1991 y 2009; pero como el año 2009 no posee sus datos completos se descarta su estudio.

**3.7.1.3. Estimación de datos faltantes para los meses y años restantes.** Teniendo en consideración las recomendaciones del *ítem 3.7.1*. y luego de realizar los procedimientos para determinar los coeficientes de correlación y la estimación de datos faltantes mostrados en el *ítem 3.7.1.1* e *ítem 3.7.1.2*. se obtuvieron las ecuaciones para completar la información de las diferentes estaciones (*ver Tabla 87*).

**Tabla 87**

*Ecuaciones para las nueve estaciones de estudio.*

Estaciones	Precipitación	Año (x)	Año (y)	Datos dispersos	Coef. Correlación inicial	Coef. Correlación final	Ecuación	R <sup>2</sup>	
<b>Chancay Baños</b>	Media	2009	2017	NA	0,90	0,90	$y = 0,0356x^3 - 0,1399x^2 + 0,5961x + 1,1561$	0,92	
	Máxima	2006	2017	Noviembre	0,74	0,88	$y = -0,0018x^2 + 1,4753x - 5,5856$	0,77	
<b>Chotano Lajas</b>	Media	2005	1993	NA	0,93	0,93	$y = -0,0174x^4 + 0,2794x^3 - 1,4502x^2 + 3,3806x + 0,242$	0,89	
	Máxima	2002	1993	NA	0,83	0,83	$y = -0,0043x^2 + 0,658x + 5,5806$	0,69	
<b>Chugur</b>			2017	1991	NA	0,90	0,90	$y = 0,0069x^2 + 0,0647x + 0,0473$	0,84
	Media	1996	2005	Abril	0,86	0,94	$y = 0,0056x^3 - 0,0782x^2 + 1,1831x + 0,3205$	0,89	
			1994	2018	NA	0,94	0,94	$y = 0,6184x + 0,3886$	0,88
			1995	1991	NA	0,85	0,85	$y = 0,0001x^2 + 0,2318x - 1,6636$	0,71
	Máxima	2004	2005	Noviembre	0,77	0,92	$y = 0,000009x^4 - 0,0005x^3 - 0,0078x^2 + 1,2966x - 0,122$	0,88	
			2001	2018	NA	0,82	0,82	$y = 0,9605x + 0,6898$	0,70
<b>Cochabamba</b>			2016	1991	Noviembre	0,75	0,85	$y = 0,0683x^3 - 0,4109x^2 + 0,8411x + 0,169$	0,79
	Media		1993	1994	NA	0,87	0,87	$y = 0,1464x^2 + 0,2833x + 0,9153$	0,79
			2011	1999	Junio	0,55	0,86	$y = 0,0441x^3 - 0,3993x^2 + 1,8288x + 0,0378$	0,75
			2006	2017	NA	0,90	0,90	$y = 0,0348x^3 - 0,2827x^2 + 1,16x + 0,3663$	0,89
			2001	1991	Noviembre	0,81	0,90	$y = 0,0017x^2 + 0,2204x + 3,8913$	0,83
	Máxima		1993	1994	Setiembre	0,80	0,91	$y = 0,0016x^3 - 0,1079x^2 + 2,7131x - 0,485$	0,90
			1989	1999	Enero y marzo	0,63	0,85	$y = -0,0057x^3 + 0,6075x^2 - 15,549x + 107,71$	0,98
			2005	2017	Marzo y agosto	0,75	0,84	$y = 0,9065x + 2,0709$	0,70



Estaciones	Precipitación	Año (x)	Año (y)	Datos dispersos	Coef. Correlación inicial	Coef. Correlación final	Ecuación	R <sup>2</sup>
Cutervo	Media	1993	1991	Octubre	0,88	0,91	$y = -0,0174x^3 + 0,242x^2 - 0,3847x + 0,6814$	0,91
		1997	2008	Octubre	0,81	0,91	$y = 0,0877x^3 - 0,7859x^2 + 2,5189x + 0,6642$	0,87
		2003	2009	NA	0,92	0,92	$y = 0,0145x^5 - 0,1676x^4 + 0,5005x^3 - 0,0447x^2 - 0,1296x + 1,1898$	0,91
		1995	2011	Febrero	0,83	0,88	$y = 0,1048x^3 - 1,2472x^2 + 4,4507x - 0,9923$	0,81
		2001	2017	NA	0,95	0,95	$y = -0,0081x^5 + 0,1963x^4 - 1,6492x^3 + 5,6982x^2 - 6,3277x + 2,0475$	1,00
		2007	2018	NA	0,99	0,99	$y = -0,0124x^2 + 1,0355x + 0,3247$	0,99
	Máxima	1997	1991	Enero	0,77	0,84	$y = 0,0348x^3 - 0,2827x^2 + 1,16x + 0,3663$	0,85
		2004	2008	Abril	0,84	0,93	$y = 0,0003x^3 - 0,0137x^2 + 1,1439x + 6,1322$	0,86
		2014	2009	Noviembre	0,77	0,84	$y = -0,0225x^2 + 1,6163x - 2,7683$	0,75
		2012	2011	Diciembre	0,83	0,94	$y = -0,00004x^3 - 0,0123x^2 + 1,2094x + 4,3901$	0,95
		2013	2017	Mayo	0,77	0,83	$y = -0,00004x^3 - 0,0123x^2 + 1,2094x + 4,3901$	0,97
Hacienda Pucara	Media	1990	2018	NA	0,96	0,96	$y = -0,00004x^3 - 0,0123x^2 + 1,2094x + 4,3901$	0,93
		1993	1991	NA	0,97	0,97	$y = 0,2069x^2 + 0,1982x + 0,3953$	0,95
	Máxima	1997	2015	Enero	0,82	0,90	$y = 0,2967x^3 - 0,5131x^2 + 1,2662x + 0,0497$	0,85
		2012	1991	NA	0,88	0,88	$y = 0,6171x + 3,4274$	0,77
Llama	Media	2000	2015	Abril	0,88	0,92	$y = 0,0011x^3 - 0,0861x^2 + 1,9297x - 1,1095$	0,89
		2003	1988	Junio	0,84	0,91	$y = 0,01x^4 - 0,0762x^3 - 0,0084x^2 + 1,408x + 0,1576$	0,86
	Máxima	2007	1992	Noviembre	0,80	0,84	$y = -0,0157x^2 + 1,1594x + 0,5916$	0,70
		2003	1988	Abril y noviembre	0,66	0,90	$y = -0,00007x^3 + 0,0032x^2 + 0,5485x + 6,2594$	0,82
		2000	1992	Mayo	0,85	0,91	$y = -0,0005x^3 + 0,0446x^2 + 0,0414x + 3,8093$	0,85

Estaciones	Precipitación	Año (x)	Año (y)	Datos dispersos	Coef. Correlación inicial	Coef. Correlación final	Ecuación	R <sup>2</sup>
<b>Quebrada Shugar</b>	Media	2014	2015	NA	0,92	0,92	$y = 0,0187x^2 + 0,8244x + 0,1781$	0,84
		2006	2016	NA	0,97	0,97	$y = 0,0685x^2 + 0,2362x + 0,3118$	0,96
	Máxima	2013	2015	Febrero y noviembre	0,64	0,87	$y = -0,004x^3 + 0,2287x^2 - 2,7681x + 9,8758$	0,88
		2003	2016	NA	0,95	0,95	$y = -0,0029x^3 + 0,1426x^2 - 1,0263x + 3,9573$	1,00
<b>Querocotillo</b>	Media	2009	2015	Enero	0,92	0,96	$y = 0,0385x^2 + 1,1161x - 1,0139$	0,93
	Máxima	2007	2015	Febrero, octubre y noviembre	0,57	0,91	$y = 0,9821x - 0,54$	0,83

Nota. NA: No aplica. Año (x): Año con datos completos. Año (y): Año con datos incompletos en algunos meses. Con las ecuaciones determinadas en la *Tabla 87* se procede a obtener y completar la información de las precipitaciones medias mensuales y máximas mensuales para todas las estaciones (ver desde la *Tabla 88* a la *Tabla 96*).

**Tabla 88**

*Datos completos de precipitaciones para la estación Chancay Baños.*

Estación : CHANCAY BAÑOS, Tipo Convencional - Meteorológica, altitud: 1 677 m s.n.m.																														
Datos de precipitación media (mm)																														
Mes/Año	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2017	2018
Enero	2,03	2,97	0,60	0,07	1,23	2,04	2,65	1,32	1,09	1,06	3,59	2,39	0,75	2,22	0,55	2,35	1,64	0,59	3,34	1,66	1,95	4,41	1,13	2,74	5,40	2,51	0,50	6,41	4,12	3,85
Febrero	2,87	2,92	2,95	0,75	1,26	4,19	5,11	3,39	4,72	5,90	3,66	7,78	4,82	1,26	1,88	2,28	0,96	2,40	3,23	0,82	7,40	3,49	4,64	3,27	6,00	2,72	3,36	2,05	2,69	1,21
Marzo	0,55	2,40	1,43	2,77	3,13	6,48	6,01	1,71	3,41	0,48	8,65	3,66	2,30	8,69	6,81	1,87	1,75	7,83	6,30	8,35	8,18	7,19	4,88	3,38	9,74	6,12	4,94	6,59	11,46	2,81
Abril	3,06	3,47	2,33	5,67	3,50	8,72	3,19	3,94	5,98	4,08	11,31	6,92	6,79	6,07	5,96	4,94	3,16	1,26	4,49	6,34	5,56	3,10	7,39	9,35	8,64	4,53	2,35	3,72	3,31	6,27
Mayo	3,54	0,04	1,32	0,89	0,95	2,72	1,42	3,32	3,41	0,32	1,25	3,83	4,63	2,17	1,50	0,90	3,30	0,15	0,61	2,65	1,93	3,88	1,21	1,54	3,18	5,96	6,18	2,89	3,44	4,58
Junio	0,81	1,24	1,38	0,12	0,73	0,43	0,64	0,08	0,43	1,35	0,80	3,88	1,12	0,35	0,10	2,90	0,00	0,77	2,36	0,05	0,95	1,65	0,33	0,37	0,89	0,85	0,32	0,11	3,21	0,31
Julio	0,31	0,04	0,03	0,08	0,11	0,74	0,94	1,50	0,10	0,0003	0,44	0,93	0,00	0,62	0,27	0,66	1,71	0,00	0,79	0,38	1,55	0,60	0,82	0,67	0,11	0,00	0,15	0,12	0,00	0,09
Agosto	0,90	0,41	0,39	0,00	0,13	0,65	0,00	0,94	1,53	0,00	0,24	1,00	0,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,39	0,98	0,46	1,40	0,21	0,31	0,53	0,11	0,55	1,04	0,04	2,19	0,00
Setiembre	1,41	1,99	0,24	0,43	2,75	2,43	4,77	0,55	1,47	1,15	2,80	3,14	3,08	3,17	0,93	2,68	1,32	0,42	1,63	1,08	4,71	1,78	1,75	4,84	0,18	0,55	3,00	0,25	2,31	0,99
Octubre	1,64	4,13	3,23	2,55	2,07	2,89	2,16	3,72	8,01	0,96	3,01	1,91	2,61	2,60	2,72	1,89	2,48	4,07	0,98	3,26	5,17	1,47	1,70	2,17	3,94	3,73	2,84	4,98	2,33	1,65
Noviembre	3,64	1,22	2,71	1,22	1,56	1,64	6,55	2,38	1,47	2,46	1,88	0,54	1,11	1,72	2,64	3,28	2,62	0,71	3,97	3,55	2,72	2,51	0,94	1,16	3,10	0,19	3,03	6,25	1,51	5,22
Diciembre	0,97	0,15	0,44	1,71	0,43	1,72	1,05	4,99	0,35	3,87	1,16	2,46	2,58	2,86	1,75	3,42	2,31	2,31	0,92	1,00	0,34	1,38	1,00	2,78	2,17	1,79	5,24	0,28	0,83	1,18
Datos de precipitación máxima (mm)																														
Mes/Año	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2017	2018
Enero	17,70	13,10	8,00	2,30	25,10	22,80	15,50	14,00	15,50	7,00	45,80	25,50	7,50	21,70	12,60	46,40	20,60	7,80	34,00	34,90	24,30	34,90	19,40	22,50	15,90	33,90	7,20	44,50	42,49	27,90
Febrero	24,20	41,70	25,20	11,00	10,30	38,80	46,90	42,40	38,50	32,50	44,60	49,90	26,80	7,80	19,50	43,70	13,00	11,80	23,90	16,10	32,30	36,90	88,80	21,20	31,80	32,20	33,90	18,40	19,50	21,60
Marzo	5,70	12,50	15,90	17,00	23,00	39,80	41,20	14,50	23,70	8,10	50,20	36,20	10,40	43,60	46,70	14,00	36,00	50,50	56,50	77,80	42,20	41,90	51,60	40,30	56,60	32,00	26,40	30,10	73,70	36,70
Abril	17,50	58,00	18,30	42,20	26,30	45,20	20,50	41,90	52,50	23,50	40,50	67,90	52,00	56,30	44,10	39,40	18,40	8,50	35,60	30,30	34,30	24,70	35,50	43,90	39,60	43,10	17,90	32,90	29,90	37,90
Mayo	35,70	1,30	15,30	6,00	10,00	33,00	15,00	39,70	38,00	3,90	11,00	46,20	29,50	20,00	19,20	7,20	34,20	3,60	19,00	24,40	21,50	40,30	20,00	17,10	26,90	25,80	63,20	23,40	21,80	36,20
Junio	7,80	27,50	12,00	3,60	9,50	11,70	19,00	2,50	5,30	25,50	24,00	41,30	15,50	10,50	2,50	30,40	0,00	18,40	33,40	1,50	9,20	32,10	7,80	8,60	17,00	20,50	4,00	3,40	51,20	8,10
Julio	8,70	1,20	1,00	2,60	2,50	21,80	20,50	15,20	3,00	0,01	8,00	12,30	0,00	10,80	3,40	11,50	24,00	0,00	10,50	10,50	36,60	14,70	8,00	19,50	3,50	0,00	4,50	1,60	0,00	1,90
Agosto	12,20	12,80	12,00	0,00	4,00	8,00	0,00	20,50	22,90	0,00	4,10	12,00	9,90	0,00	0,00	0,00	0,00	8,50	20,80	4,80	13,00	3,70	3,50	15,30	3,40	6,10	14,20	1,30	46,00	0,00
Setiembre	19,30	17,00	6,40	4,30	15,00	17,70	36,20	6,30	16,40	17,40	20,70	20,20	23,40	26,40	18,50	57,50	19,60	5,30	20,10	26,10	32,20	27,00	23,90	39,80	5,50	12,80	20,30	3,60	23,20	16,70
Octubre	20,40	35,00	14,70	18,40	17,20	18,00	24,00	19,80	64,20	18,30	31,80	16,00	45,50	21,10	23,50	16,60	13,90	20,90	17,90	18,50	34,00	17,40	20,20	14,50	22,20	23,50	26,90	34,20	17,30	7,20
Noviembre	31,70	14,50	24,50	13,00	24,50	21,40	45,60	19,70	26,80	14,40	20,00	10,30	9,30	12,70	20,50	19,00	16,20	13,20	46,20	26,80	14,20	24,50	9,50	7,00	30,30	2,70	34,00	30,50	23,00	50,00
Diciembre	7,50	4,70	12,20	24,50	8,00	11,20	9,60	21,20	6,30	51,10	17,20	15,80	19,70	25,30	16,40	49,20	17,80	16,50	8,00	9,00	6,50	15,80	11,80	26,90	20,50	16,90	42,60	6,80	9,70	12,90
Datos de precipitación total (mm)																														
Mes/Año	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2017	2018
Enero	62,80	92,00	18,63	2,31	38,00	63,17	82,05	41,04	33,82	32,80	111,30	74,00	23,10	68,72	17,10	72,90	50,70	18,20	103,61	51,42	60,41	136,61	34,90	84,90	167,40	77,81	15,60	198,70	127,72	119,50
Febrero	83,20	81,80	82,72	21,03	36,53	117,23	142,94	95,01	136,93	165,32	102,51	217,71	139,70	35,30	52,72	63,80	27,70	67,10	90,32	23,00	214,51	97,71	129,80	91,61	173,90	76,11	94,00	57,50	75,40	33,80
Marzo	17,00	74,40	44,48	85,92	96,92	201,02	186,27	53,02	105,74	14,91	268,11	113,50	71,40	269,30	211,00	58,00	54,30	242,70	195,42	258,71	253,52	222,90	151,30	104,91	302,02	189,80	153,20	204,20	355,20	87,20
Abril	91,90	104,00	69,94	170,02	105,03	261,50	95,71	118,30	179,41	122,51	339,21	207,60	203,70	182,12	178,70	148,20	94,80	37,80	134,71	190,32	166,84	93,10	221,60	280,60	259,30	136,00	70,60	111,50	99,30	188,20
Mayo	109,80	1,30	40,88	27,52	29,40	84,40	44,01	102,90	105,62	9,90	38,90	118,60	143,51	67,12	46,50	27,80	102,20	4,60	19,00	82,30	59,80	120,40	37,40	47,80	98,60	184,70	191,60	89,50	106,64	141,90
Junio	24,20	37,30	41,31	3,64	21,90	12,80	19,22	2,50	13,00	40,60	24,00	116,42	33,71	10,50	3,10	86,90	0,00	23,21	70,92	1,50	28,60	49,40	9,80	11,10	26,82	25,40	9,60	3,40	96,40	9,40
Julio	9,70	1,20	1,00	2,60	3,51	22,80	29,10	46,63	3,00	0,01	13,50	28,70	0,00	19,11	8,51	20,41	53,00	0,00	24,60	11,80	47,90	18,50	25,30	20,81	3,50	0,00	4,50	3,60	0,00	2,70
Agosto	27,80	12,80	12,01	0,00	4,02	20,01	0,00	29,11	47,53	0,00	7,30	30,90	19,11	0,00	0,00	0,00	0,00	12,20	30,30	14,30	143,51	6,51	9,60	16,41	3,40	16,90	32,20	1,30	68,00	0,00
Setiembre	42,20	59,60	7,21	12,80	82,40	72,82	143,00	16,64	44,12	34,40	83,91	94,30	92,41	95,10	27,80	80,40	39,70	12,60	48,80	32,50	441,32	53,50	52,60	145,10	5,50	16,40	90,00	7,40	69,20	29,60
Octubre	50,80	127,93	100,21	79,02	64,20	89,61	66,92	115,31	248,32	29,90	93,30	59,31	80,90	80,60	84,20	58,71	77,02	126,31	30,23	101,20	160,42	45,50	52,70	67,21	122,00	115,70	88,10	154,30	72,20	51,20
Noviembre	109,30	36,50	81,42	36,70	46,70	49,30	196,42	71,43	44,01	73,72	56,50	16,30	33,21	51,70	79,20	98,30	78,71	21,42	119,20	106,55	81,51	75,30	28,20	34,71	93,10	5,80	91,00	187,60	45,40	156,50
Diciembre	30,00	4,72	13,70	52,92	13,34	53,30	32,43	154,71	10,71	120,00	35,90	76,40	80,00	88,72	54,40	106,10	71,50	71,71	28,42	31,10	10,41	42,90	31,10	86,22	67,20	55,50	162,50	8,70	25,70	36,70

**Tabla 89**

*Datos completos de precipitaciones para la estación Chotano Lajas.*

Estación : CHOTANO LAJAS, Tipo Convencional - Meteorológica, altitud: 2 163,4 m s.n.m.																															
Datos de precipitación media (mm)																															
Mes/Año	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	5,73	5,48	1,80	0,36	1,65	2,89	3,52	0,92	1,75	1,41	4,59	3,53	1,58	3,41	2,24	2,21	2,79	0,93	2,69	2,17	3,19	5,23	1,11	2,21	7,83	3,65	1,25	4,80	3,48	3,45	3,87
Febrero	4,79	5,08	2,82	2,72	2,31	4,42	4,46	2,15	4,89	5,32	4,33	9,17	4,80	1,78	2,49	3,63	1,17	4,51	6,54	0,95	9,23	3,37	5,24	4,33	6,59	3,08	3,91	2,19	4,70	1,77	3,43
Marzo	2,77	6,49	1,98	6,00	2,60	6,98	4,98	3,78	4,55	1,99	6,93	3,97	4,15	8,73	5,63	3,18	2,17	7,26	8,28	5,15	3,60	10,48	6,44	2,68	4,75	6,20	6,00	7,58	4,02	9,21	2,80
Abril	5,47	3,78	2,80	4,56	5,05	3,70	3,76	3,59	2,45	2,86	8,23	2,07	4,48	4,26	3,77	2,48	3,66	2,15	2,72	4,48	3,43	3,92	4,42	4,70	6,53	2,94	2,46	2,42	3,73	3,71	3,91
Mayo	3,24	0,73	2,54	0,36	1,22	2,21	1,35	2,14	1,63	0,55	2,15	1,32	3,84	2,25	2,17	0,79	2,61	0,33	0,11	2,71	1,96	2,72	1,63	0,83	2,70	6,93	5,01	2,65	1,27	4,10	4,70
Junio	1,32	1,64	0,73	0,19	0,64	0,23	0,69	0,14	0,95	0,91	0,01	4,67	2,90	0,16	0,07	3,24	0,04	0,50	0,51	0,00	0,60	0,91	0,92	0,06	0,03	0,53	0,48	0,56	1,36	1,95	0,31
Julio	0,43	0,58	0,12	0,71	0,94	0,32	0,09	1,69	0,13	0,01	0,28	0,60	0,07	0,10	0,36	0,24	0,84	0,05	0,84	0,34	0,21	0,12	0,95	0,65	0,28	0,61	0,55	0,25	0,00	0,00	0,00
Agosto	0,83	1,35	0,43	0,00	0,46	0,83	0,00	1,32	0,81	0,02	0,86	0,55	0,59	0,00	0,06	0,24	0,06	0,19	0,48	0,98	1,59	0,32	0,67	0,22	0,02	1,35	0,60	0,08	0,00	2,91	0,00
Setiembre	1,70	5,04	0,21	1,27	4,85	2,68	2,57	1,38	2,57	0,36	2,22	4,78	2,25	4,22	0,68	3,52	2,95	1,34	2,53	1,21	4,63	1,59	2,03	2,41	0,82	0,30	1,21	0,27	1,78	1,93	1,88
Octubre	1,35	6,97	6,93	1,61	2,96	5,14	0,59	5,44	6,75	0,95	3,27	3,06	0,26	3,77	2,49	2,36	3,07	5,17	2,13	5,08	6,41	3,36	1,98	1,81	4,14	4,71	2,10	5,40	2,39	3,27	3,70
Noviembre	3,27	2,53	3,88	1,60	1,42	2,61	4,41	2,12	1,97	3,40	2,38	1,97	1,67	3,24	4,16	4,83	5,93	2,53	5,62	4,56	4,06	4,39	1,38	1,71	4,16	0,52	3,95	5,22	1,61	2,20	5,79
Diciembre	1,98	0,33	1,04	1,62	0,93	3,78	2,15	4,80	0,74	3,90	4,64	4,01	4,70	3,17	3,27	3,24	3,44	3,15	3,12	1,50	0,62	2,41	1,53	4,24	2,75	1,72	2,91	0,76	4,19	1,20	1,14
Datos de precipitación máxima (mm)																															
Mes/Año	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	28,60	32,80	24,50	3,00	14,30	17,10	20,30	6,50	19,30	10,70	28,10	32,00	18,70	22,70	20,90	32,50	26,20	7,50	29,60	25,30	49,00	24,00	15,10	12,30	26,70	50,40	16,60	35,00	20,30	29,20	34,40
Febrero	24,40	51,50	14,00	31,10	32,20	23,52	23,30	21,60	22,70	28,60	28,60	32,40	18,60	11,80	35,50	27,90	18,00	22,10	36,20	11,20	35,00	20,10	57,70	20,20	48,50	14,60	22,10	18,00	32,40	18,70	40,00
Marzo	21,20	82,10	9,20	22,70	18,70	20,90	26,60	38,10	20,50	23,00	36,80	37,20	17,00	36,50	26,60	26,00	27,00	37,50	42,40	22,30	20,40	43,90	34,20	19,80	36,40	25,70	24,10	31,40	37,50	41,80	20,00
Abril	31,20	25,30	18,80	33,90	37,80	13,00	19,30	21,20	17,90	25,50	63,40	15,00	35,40	42,50	24,20	32,60	17,60	12,30	30,30	34,40	11,80	29,90	22,30	14,30	47,60	18,40	16,80	19,00	31,50	22,20	38,00
Mayo	23,80	17,00	22,20	4,50	13,00	14,20	16,00	15,20	10,00	6,10	28,20	7,80	24,50	27,10	24,00	9,60	43,30	4,00	1,20	25,20	12,70	23,20	13,50	19,50	18,90	36,10	34,60	30,80	19,60	23,30	19,50
Junio	21,30	25,50	5,20	3,20	11,80	6,80	13,80	3,00	15,00	10,70	0,30	41,40	27,50	1,70	1,90	29,10	0,80	13,60	9,20	0,00	10,80	15,60	10,30	0,80	0,60	10,90	3,10	16,70	29,40	25,40	5,80
Julio	4,40	10,20	3,20	17,60	14,60	5,20	2,40	19,30	2,10	0,40	5,10	9,00	0,90	1,70	3,00	4,50	14,70	1,40	13,60	4,70	2,60	1,40	16,90	8,20	4,80	18,80	8,70	3,20	0,00	0,00	0,00
Agosto	12,50	31,70	10,70	0,00	6,50	6,43	0,00	20,70	10,40	0,30	16,60	8,10	13,00	0,00	1,30	4,30	1,20	5,20	10,10	12,20	17,60	4,10	12,40	3,40	0,60	17,60	11,90	2,50	0,00	33,40	0,00
Setiembre	18,00	35,70	1,70	13,20	28,10	18,10	31,80	15,20	21,70	6,60	18,50	27,70	7,70	20,00	11,70	17,50	29,00	28,50	37,10	12,30	35,50	36,20	19,40	17,80	15,80	6,00	11,10	3,50	26,70	14,00	32,00
Octubre	10,50	44,00	43,30	10,90	26,20	25,20	7,90	20,20	31,10	14,50	29,10	53,30	3,30	21,00	24,30	18,60	18,80	22,20	18,40	41,20	43,40	26,40	20,00	11,80	23,10	17,80	17,70	41,10	15,80	24,40	35,70
Noviembre	20,50	33,30	16,90	12,80	14,50	19,20	22,00	9,10	17,50	14,20	19,20	16,70	9,00	15,00	24,20	21,10	27,70	29,60	32,40	32,70	26,20	54,10	8,60	11,60	31,40	5,70	40,00	37,40	16,80	32,00	46,50
Diciembre	24,00	4,50	10,20	23,10	7,70	25,80	17,60	17,50	5,80	48,30	69,10	19,20	29,10	16,50	39,50	27,40	19,30	15,80	26,70	12,90	8,20	27,20	13,10	28,80	35,70	10,30	16,50	19,70	17,00	18,00	12,40
Datos de precipitación total (mm)																															
Mes/Año	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	177,60	169,80	55,90	11,30	51,20	89,50	109,10	28,50	54,20	43,70	142,20	109,30	49,10	105,70	69,30	68,40	86,50	28,90	83,50	67,40	98,90	162,20	34,50	68,60	242,60	113,10	38,60	148,70	108,00	106,90	119,90
Febrero	139,00	142,10	79,00	76,10	67,00	123,76	124,80	60,30	141,80	149,00	121,10	256,70	139,30	49,70	69,70	101,50	33,80	126,40	183,20	26,70	267,70	94,30	146,80	121,20	191,20	86,20	109,60	61,40	136,40	49,50	95,90
Marzo	85,80	201,30	61,50	185,90	80,60	216,30	154,30	117,30	141,00	61,80	214,70	123,00	128,50	270,60	174,60	98,50	67,30	225,10	256,60	159,60	111,60	325,00	199,50	83,10	147,40	192,30	186,10	234,90	124,50	285,40	86,80
Abril	164,00	113,40	84,00	136,70	151,60	111,10	112,90	107,80	73,40	85,70	246,90	62,10	134,30	127,80	113,00	74,30	109,80	64,50	81,70	134,40	102,90	117,60	132,70	141,10	196,00	88,30	73,90	72,50	112,00	111,40	117,20
Mayo	100,40	22,50	78,80	11,20	37,90	68,50	41,70	66,30	50,50	17,20	66,60	40,80	119,00	69,90	67,40	24,50	81,00	10,20	3,50	83,90	60,70	84,40	50,40	25,70	83,80	214,70	155,40	82,30	39,50	127,10	145,60
Junio	39,60	49,20	21,90	5,80	19,30	6,80	20,80	4,20	28,40	27,40	0,30	140,20	86,90	4,70	2,10	97,20	1,10	14,90	15,40	0,00	18,10	27,30	27,50	1,80	1,00	15,90	14,50	16,70	40,90	58,60	9,30
Julio	13,30	18,00	3,70	21,90	29,00	10,00	2,80	52,30	4,00	0,40	8,70	18,50	2,10	3,20	11,10	7,40	26,10	1,40	26,00	10,40	6,50	3,70	29,30	20,20	8,70	18,80	16,90	7,70	0,00	0,00	0,00
Agosto	25,60	41,90	13,20	0,00	14,30	25,73	0,00	41,00	25,00	0,50	26,80	16,90	18,30	0,00	1,80	7,30	1,80	5,80	14,90	30,50	49,40	9,90	20,70	6,90	0,60	41,70	18,70	2,50	0,00	90,10	0,00
Setiembre	51,10	151,10	6,20	38,00	145,50	80,30	77,10	41,50	77,10	10,80	66,70	143,50	67,50	126,70	20,30	105,60	88,40	40,10	75,90	36,20	139,00	47,60	60,80	72,20	24,50	9,10	36,30	8,20	53,30	57,90	56,30
Octubre	41,70	216,20	214,80	49,80	91,70	159,40	18,30	168,50	209,10	29,60	101,40	94,90	8,20	117,00	77,20	73,10	95,10	160,20	66,00	157,40	198,80	104,20	61,40	56,10	128,40	146,10	65,20	167,50	74,10	101,40	114,80
Noviembre	98,20	75,80	116,40	47,90	42,70	78,30	132,40	63,50	59,10	101,90	71,40	59,10	50,20	97,30	124,80	144,80	178,00	75,90	168,70	136,80	121,70	131,80	41,30	51,30	124,90	15,60	118,40	156,70	48,20	66,10	173,70
Diciembre	61,50	10,10	32,20	50,20	28,70	117,30	66,50	148,90	22,90	120,80	143,80	124,20	145,80	98,20	101,40	100,50	106,60	97,50	96,60	46,60	19,30	74,80	47,30	131,40	85,30	53,20	90,10	23,70	130,00	37,10	35,30

</

**Tabla 90**

*Datos completos de precipitaciones para la estación Chugur.*

Estación : CHUGUR, Tipo Convencional - Meteorológica, altitud: 2 757 m s.n.m.																															
Datos de precipitación media (mm)																															
Mes/Año	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	10,39	16,05	0,03	0,34	1,74	2,52	10,82	2,80	3,57	2,79	5,45	5,17	3,07	6,57	4,35	5,76	4,26	3,52	6,11	5,20	8,22	11,45	2,22	4,43	15,81	5,91	4,17	8,02	7,95	7,51	8,76
Febrero	14,70	19,61	0,08	2,28	1,36	5,32	8,70	10,77	8,66	7,85	9,21	15,13	10,32	6,35	11,10	9,14	4,69	9,20	11,34	3,44	16,59	7,09	8,46	8,58	13,10	5,72	13,24	3,62	8,69	11,94	5,61
Marzo	3,67	22,59	0,82	3,46	0,99	11,82	11,37	7,65	12,84	3,77	9,79	9,97	12,80	13,65	9,04	5,96	3,92	14,71	16,13	9,75	10,50	14,09	12,20	6,70	5,29	11,20	10,83	19,51	9,09	18,40	5,87
Abril	3,88	24,15	4,64	0,00	0,89	13,63	8,55	4,02	7,36	4,82	9,22	4,53	4,30	4,09	7,95	4,28	3,85	1,99	4,14	7,82	7,89	5,48	8,45	10,76	7,11	4,66	3,95	4,31	7,72	7,03	5,66
Mayo	4,58	5,92	0,26	0,65	0,17	9,64	1,79	5,29	2,21	2,29	3,44	5,16	5,82	6,96	2,33	1,54	3,07	1,19	1,73	3,01	3,36	5,07	3,67	0,66	2,69	7,20	5,09	5,25	1,39	5,77	1,50
Junio	1,78	2,57	0,37	0,14	0,35	0,41	0,00	0,88	0,89	2,17	0,52	5,03	2,37	0,35	0,18	2,33	0,19	0,37	2,62	0,02	0,95	2,55	1,50	0,61	0,44	0,17	0,21	0,01	1,56	1,31	0,39
Julio	0,26	0,34	0,15	0,00	0,00	1,68	0,00	1,74	0,80	0,00	0,00	0,82	0,25	0,36	0,54	0,81	2,40	1,22	1,27	1,91	1,34	1,07	0,78	1,95	0,00	0,66	1,80	0,20	0,11	0,00	0,39
Agosto	0,29	0,73	0,11	0,00	0,36	1,49	0,00	0,30	0,93	0,42	0,46	0,45	0,26	0,15	0,57	1,58	0,23	0,17	1,04	1,28	0,63	0,49	0,54	0,42	0,70	2,06	1,49	0,32	2,01	2,48	0,03
Setiembre	5,10	2,13	1,30	0,64	4,08	8,84	2,39	1,94	2,18	2,20	2,23	7,42	4,30	4,57	2,69	4,62	3,17	1,86	4,53	1,10	9,75	2,22	1,57	3,73	0,69	0,62	4,75	0,18	3,72	2,62	2,27
Octubre	7,03	3,42	5,85	1,37	1,94	11,23	2,80	6,66	10,53	3,02	5,78	4,33	1,67	4,53	7,24	2,99	6,15	9,78	2,80	7,83	8,07	5,52	3,83	5,36	6,00	8,91	4,69	3,34	5,31	8,33	2,12
Noviembre	4,85	0,22	4,06	0,60	0,25	4,93	3,80	6,97	3,14	6,92	2,98	5,02	3,16	5,54	5,72	5,30	7,09	3,83	6,66	8,01	4,20	7,07	2,67	2,85	7,75	1,87	5,68	5,35	1,71	3,84	2,74
Diciembre	10,97	0,43	1,10	1,18	1,47	6,51	4,76	9,93	1,34	8,91	3,52	8,65	7,43	8,54	6,66	3,74	3,82	5,74	9,45	2,56	1,40	5,58	4,79	9,27	2,84	6,18	6,56	1,34	5,77	6,19	3,33
Datos de precipitación máxima (mm)																															
Mes/Año	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	17,50	40,40	0,50	3,30	8,80	9,30	21,00	18,60	18,10	14,60	37,20	49,80	17,30	39,80	64,20	44,90	20,70	25,50	39,00	44,60	47,60	62,90	33,90	31,10	48,50	31,00	22,20	33,10	35,60	37,80	42,80
Febrero	22,70	43,00	1,40	9,40	8,80	13,50	20,70	36,30	40,00	27,10	50,90	37,50	36,80	27,50	59,20	74,40	58,50	59,40	46,60	26,70	87,30	33,40	74,80	48,70	42,00	26,30	87,20	22,10	61,50	62,10	22,70
Marzo	7,30	31,80	8,20	9,90	7,70	31,00	19,80	50,00	33,60	28,30	46,60	70,20	62,60	41,90	42,80	49,40	47,30	43,30	59,20	44,90	36,80	57,30	59,10	25,00	23,90	37,20	43,00	85,20	58,00	57,10	31,60
Abril	8,00	38,80	22,20	0,00	6,60	55,00	20,80	22,30	63,80	25,40	40,80	27,30	26,20	25,60	75,10	32,60	23,60	13,30	45,90	29,40	55,80	29,80	48,80	53,20	34,50	24,50	21,80	28,00	43,40	52,80	41,60
Mayo	20,50	16,40	5,20	8,87	4,40	58,00	10,00	44,60	12,50	18,30	19,60	30,20	28,50	32,10	20,50	20,70	42,50	27,90	21,90	21,80	24,60	43,50	21,80	9,20	23,80	39,00	22,50	21,30	12,40	26,20	31,52
Junio	8,00	14,90	3,20	1,55	4,40	6,50	0,00	13,80	10,80	34,20	15,70	28,80	20,40	8,20	3,30	36,00	3,20	5,20	29,00	0,60	9,60	29,90	18,40	7,70	4,80	2,90	5,20	0,40	18,40	15,00	8,57
Julio	5,00	5,00	3,00	0,00	0,00	28,00	0,00	16,50	8,50	0,00	0,00	7,20	2,20	4,20	3,30	20,00	21,20	20,91	15,50	14,90	30,40	22,80	7,20	45,10	0,00	13,20	20,80	2,10	3,40	0,00	4,72
Agosto	9,00	10,50	3,20	0,00	5,30	29,30	0,00	3,20	7,70	13,10	10,20	5,80	2,50	4,70	12,80	41,20	3,20	2,80	19,80	17,40	5,10	8,60	14,70	6,00	12,20	22,70	17,90	7,30	39,40	24,60	0,30
Setiembre	17,40	12,20	19,30	5,00	8,60	64,00	17,70	20,10	15,90	23,40	12,90	85,10	23,40	23,70	31,80	40,00	20,40	16,30	29,00	19,20	53,30	27,90	20,60	25,00	11,60	18,50	28,30	3,40	28,70	32,20	21,90
Octubre	25,50	20,00	27,50	7,70	6,20	37,70	26,90	35,40	35,90	14,50	30,30	45,80	17,50	38,90	56,90	21,20	25,80	36,00	34,50	33,30	31,70	30,30	30,00	37,30	31,40	28,90	37,10	20,10	46,90	86,50	38,05
Noviembre	17,40	5,20	20,00	5,50	3,30	29,60	13,10	41,50	20,80	27,00	15,40	79,30	20,20	25,70	30,00	24,30	31,10	67,80	40,80	43,40	25,60	48,10	26,80	18,50	45,50	15,80	28,00	20,10	15,00	31,50	25,37
Diciembre	45,60	6,00	7,00	8,80	8,60	32,20	20,10	35,90	10,00	53,90	21,00	32,10	29,00	43,70	38,10	27,20	27,10	23,00	50,70	14,60	17,60	37,00	26,10	66,50	15,50	52,90	25,70	11,50	24,10	55,50	42,66
Datos de precipitación total (mm)																															
Mes/Año	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	322,20	497,50	0,80	10,60	53,90	78,10	335,50	86,80	110,70	86,50	168,90	160,30	95,10	203,60	134,80	178,70	132,00	109,10	189,30	161,20	254,70	354,90	68,90	137,30	490,20	183,10	129,40	248,50	246,60	232,70	271,50
Febrero	426,30	549,20	2,30	63,70	39,40	148,90	243,70	301,50	251,10	219,90	258,00	423,60	299,20	177,70	310,80	255,80	136,00	257,50	317,50	96,20	481,10	198,50	237,00	240,30	380,00	160,10	370,70	101,30	252,10	334,20	157,10
Marzo	113,70	700,30	25,40	107,20	30,70	366,30	352,50	237,30	398,10	117,00	303,50	309,00	396,70	423,00	280,20	184,80	121,40	455,90	500,00	302,20	325,40	436,90	378,20	207,80	164,00	347,10	335,60	604,70	281,70	570,30	181,90
Abril	116,50	724,50	139,10	0,00	26,60	409,00	256,50	120,60	220,80	144,70	276,70	135,80	128,90	122,70	238,50	128,40	115,40	59,70	124,10	234,60	236,70	164,30	253,50	322,90	213,20	139,70	118,40	129,25	231,60	210,90	169,70
Mayo	142,00	183,60	8,10	20,15	5,20	298,90	55,60	164,00	68,60	71,00	106,60	160,10	180,50	215,70	72,10	47,70	95,20	36,90	53,60	93,40	104,10	157,30	113,90	20,50	83,30	223,30	157,80	162,70	43,00	178,90	46,50
Junio	53,30	77,00	11,10	4,20	10,50	12,20	0,00	26,30	26,80	65,10	15,70	150,90	71,00	10,40	5,40	69,80	5,80	11,10	78,70	0,60	28,60	76,40	44,90	18,20	13,20	5,10	6,20	0,40	46,70	39,20	11,70
Julio	8,20	10,40	4,50	0,00	0,00	52,00	0,00	53,80	24,90	0,00	0,00	25,50	7,80	11,20	16,80	25,20	74,30	37,82	39,40	59,10	41,40	33,20	24,30	60,40	0,00	20,60	55,70	6,30	3,50	0,00	12,09
Agosto	9,00	22,50	3,40	0,00	11,20	46,30	0,00	9,20	28,80	13,10	14,30	13,80	8,00	4,70	17,60	48,90	7,10	5,20	32,30	39,60	19,40	15,10	16,70	13,10	21,60	64,00	46,30	10,00	62,30	77,00	1,00
Setiembre	153,10	63,80	39,00	19,10	122,40	265,20	71,60	58,20	65,50	66,00	66,80	222,70	129,00	137,00	80,70	138,60	95,00	55,90	136,00	33,00	292,50	66,50	47,10	111,80	20,60	18,50	142,40	5,50	111,60	78,70	68,00
Octubre	217,80	105,90	181,50	42,40	60,10	348,10	86,70	206,40	326,50	93,60	179,20	134,20	51,80	140,50	224,50	92,70	190,70	303,30	86,80	242,60	250,30	171,20	118,60	166,30	185,90	276,20	145,30	103,40	164,70	258,30	65,72
Noviembre	145,40	6,50	121,90	18,10	7,50	148,00	114,10	209,20	94,30	207,60	89,50	150,70	94,70	166,10	171,60	159,00	212,80	115,00	199,80	240,30	126,10	212,20	80,10	85,40	232,50	56,20	170,30	160,40	51,20	115,10	82,20
Diciembre	340,10	13,30	34,20	36,60	45,50	201,90	147,60	307,70	41,50	276,20	109,20	268,20	230,40	264,60																	

**Tabla 91**

*Datos completos de precipitaciones para la estación Cochabamba.*

Estación : COCHABAMBA, Tipo Convencional - Meteorológica, altitud: 1 653 m s.n.m.																															
Datos de precipitación media (mm)																															
Mes/Año	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	2,35	4,00	1,12	0,33	0,83	1,08	0,99	1,49	1,15	1,53	0,58	1,35	1,51	1,59	1,17	1,58	1,35	0,68	2,65	1,42	2,58	3,23	0,96	2,36	5,62	1,80	1,25	4,71	1,54	2,10	2,69
Febrero	0,93	1,54	3,32	0,25	1,57	3,39	3,70	1,39	4,55	4,16	2,98	3,80	4,51	1,55	3,50	3,00	1,92	4,19	5,02	0,97	8,78	3,54	5,53	2,09	4,83	1,31	3,02	2,80	1,33	3,56	1,74
Marzo	0,86	3,83	1,13	2,34	1,48	5,85	7,63	0,96	5,95	0,35	4,65	2,02	4,61	3,35	1,66	2,19	0,85	4,97	8,07	3,27	5,68	6,55	4,29	1,84	6,09	5,37	3,58	5,79	5,07	9,61	2,11
Abril	3,35	3,76	2,78	2,94	3,18	3,65	4,85	1,63	3,49	2,48	8,23	6,11	5,74	4,02	5,21	3,50	2,96	1,37	2,21	3,83	5,24	1,55	7,27	5,97	10,99	2,62	1,85	2,47	4,89	2,69	4,13
Mayo	3,99	0,35	1,17	0,58	2,50	1,15	1,35	1,94	3,37	0,35	2,39	2,24	10,54	2,82	1,43	0,81	2,58	0,31	0,54	3,97	3,79	1,78	1,73	1,74	1,85	7,89	3,05	3,65	0,71	0,92	5,47
Junio	0,34	2,89	0,83	0,49	0,45	0,02	0,10	0,02	0,98	0,75	0,18	5,09	1,82	0,08	0,43	2,74	0,10	0,55	2,01	0,00	1,37	1,19	0,50	0,24	0,00	0,23	0,05	0,00	0,49	2,01	0,66
Julio	0,81	0,26	0,21	0,13	0,13	0,74	1,21	1,08	0,00	0,27	0,00	0,72	0,42	0,03	0,71	0,19	1,34	0,04	1,24	1,25	0,12	0,19	1,24	0,20	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,06
Agosto	1,62	1,04	0,03	0,05	0,38	0,52	1,10	0,54	2,02	0,00	1,48	0,67	1,06	0,05	0,00	0,11	0,03	0,29	0,09	0,62	4,22	1,01	0,19	0,54	0,00	0,78	1,37	0,00	0,00	0,79	0,00
Setiembre	1,88	3,24	0,35	1,71	3,15	1,00	3,37	0,37	0,57	0,00	2,89	5,55	4,23	8,97	1,71	0,69	3,79	0,70	2,32	1,11	5,63	0,11	4,14	5,63	1,38	0,12	1,31	0,00	1,08	2,47	1,41
Octubre	2,05	5,26	4,36	0,69	2,44	2,98	1,08	1,84	6,16	0,62	1,97	3,24	1,35	2,14	3,19	3,64	3,22	5,68	1,52	5,03	7,97	1,82	1,81	1,63	6,60	6,07	2,33	4,45	1,95	3,15	2,87
Noviembre	2,71	1,06	2,93	2,39	1,42	1,03	1,92	3,52	0,58	1,01	1,06	0,70	1,41	2,32	2,79	4,11	3,68	1,82	3,23	4,45	2,28	2,26	1,52	1,07	3,07	0,52	2,42	5,31	1,68	1,49	4,52
Diciembre	1,33	0,38	0,21	1,30	0,48	0,85	0,83	3,08	0,01	2,11	0,97	3,34	3,77	4,58	1,51	0,77	2,86	2,88	1,38	1,17	0,43	2,13	1,48	3,21	3,37	3,03	1,40	0,00	3,93	0,40	0,85
Datos de precipitación máxima (mm)																															
Mes/Año	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	12,80	36,40	11,00	4,20	19,20	12,00	8,50	41,00	11,00	16,00	10,00	11,50	14,50	24,50	19,70	22,00	13,10	7,90	14,20	18,20	35,20	25,90	22,20	29,00	24,30	24,70	24,00	36,00	9,30	9,23	26,40
Febrero	10,80	26,00	25,00	6,00	28,50	30,00	23,40	20,00	29,00	50,50	45,00	10,50	23,10	21,10	52,40	53,00	20,00	35,10	19,00	22,00	50,60	23,40	82,20	19,10	21,60	8,30	38,20	33,00	9,50	32,20	17,00
Marzo	15,20	50,40	11,00	20,80	11,20	48,60	60,00	8,00	83,00	11,00	29,00	17,00	31,00	21,30	14,20	28,20	12,20	23,30	42,60	26,70	102,20	55,80	40,00	14,20	74,40	59,50	34,60	35,00	39,70	34,80	23,20
Abril	30,80	49,00	18,20	31,00	58,00	22,80	27,00	12,00	42,50	26,00	36,00	133,82	35,10	80,20	80,50	34,20	46,70	28,70	21,20	25,40	33,10	10,80	53,20	28,90	61,40	25,50	31,20	19,60	51,50	23,30	37,40
Mayo	102,00	10,80	19,20	15,39	24,20	7,20	17,60	22,00	39,00	6,00	25,50	3,46	83,00	39,90	28,50	18,50	36,50	4,70	14,00	60,60	30,10	16,40	20,80	20,40	27,20	38,60	12,20	66,40	12,20	6,33	43,70
Junio	8,20	67,20	10,80	4,41	6,40	0,50	2,00	0,50	18,00	11,50	5,50	71,40	17,90	2,30	9,50	27,50	1,90	15,40	26,70	0,00	22,40	8,00	11,40	3,80	0,00	7,00	1,50	0,00	12,00	21,00	11,80
Julio	14,00	8,00	2,40	4,00	4,00	23,00	24,30	13,00	0,00	6,00	0,00	11,70	3,90	0,80	7,40	5,40	15,00	1,30	24,60	21,80	3,10	5,80	21,00	2,70	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	2,00
Agosto	22,20	10,00	1,00	1,50	4,80	8,00	15,13	3,80	32,00	0,00	20,00	8,90	30,50	1,40	0,00	3,50	0,90	9,00	2,80	16,70	61,30	24,00	4,50	10,20	0,00	9,80	42,40	0,00	0,00	21,70	0,00
Setiembre	24,20	35,20	4,00	34,00	31,00	14,00	45,00	3,50	13,00	0,00	29,00	63,50	31,70	79,30	41,60	11,70	27,30	15,40	38,10	21,20	45,30	1,60	57,50	49,20	41,40	3,50	16,20	0,00	16,10	21,30	34,50
Octubre	18,60	29,00	45,00	9,60	28,00	17,20	29,00	12,00	32,00	5,50	17,00	31,10	32,70	13,80	31,30	32,80	18,10	30,30	17,50	26,80	73,90	15,60	20,60	13,30	41,40	44,00	19,60	56,30	27,60	28,80	44,20
Noviembre	11,40	10,00	24,20	24,00	14,00	11,00	22,00	27,50	11,00	11,00	12,20	9,20	35,10	16,30	21,80	45,40	19,20	22,20	19,40	32,60	16,80	16,90	23,40	12,30	20,60	13,20	25,80	35,20	40,20	32,20	39,70
Diciembre	12,60	7,60	2,80	16,00	5,60	7,00	10,00	12,50	0,20	34,00	7,00	26,70	22,00	48,80	9,80	9,60	15,60	16,00	24,00	17,20	7,30	41,90	15,40	36,90	57,60	23,30	16,40	0,00	36,70	6,80	11,00
Datos de precipitación total (mm)																															
Mes/Año	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	72,90	123,90	34,70	10,20	25,70	33,40	30,80	46,20	35,50	47,50	18,00	42,00	46,80	49,30	36,40	48,90	42,00	21,10	82,00	43,90	79,90	100,00	29,70	73,30	174,20	55,80	38,70	146,00	47,70	65,10	83,40
Febrero	27,10	43,00	92,90	7,00	45,50	95,00	103,50	39,00	132,00	116,50	83,50	106,50	130,90	43,50	98,10	84,00	55,60	117,20	140,50	27,10	254,60	99,00	154,90	58,40	140,10	36,80	84,50	38,60	99,60	48,80	48,80
Marzo	26,60	118,80	35,00	72,60	46,00	181,20	236,60	29,80	184,50	11,00	144,00	62,50	142,80	103,80	51,40	67,90	26,30	154,00	250,20	101,50	176,20	203,10	132,90	57,00	188,80	166,50	111,10	179,40	157,20	297,80	65,50
Abril	100,60	112,80	83,40	88,20	95,30	109,40	145,40	49,00	104,60	74,30	247,00	183,30	172,10	120,70	156,40	105,10	88,70	41,00	66,20	115,00	157,30	46,60	218,00	179,10	329,80	78,60	55,40	74,10	146,60	80,80	123,90
Mayo	123,60	10,80	36,20	17,98	77,60	35,70	41,80	60,00	104,50	11,00	74,00	69,44	326,60	87,50	44,30	25,00	80,10	9,60	16,80	123,20	117,60	55,30	53,50	54,00	57,30	244,50	94,40	113,30	21,90	28,52	169,70
Junio	10,20	86,60	24,80	14,70	13,40	0,50	3,00	0,50	29,50	22,50	5,50	152,60	54,60	2,30	12,80	82,30	3,00	16,50	60,40	0,00	41,20	35,80	15,10	7,30	0,00	7,00	1,50	0,00	14,70	60,20	19,90
Julio	25,20	8,00	6,40	4,00	4,00	23,00	37,51	33,50	0,00	8,50	0,00	22,40	13,00	0,80	21,90	5,90	41,40	1,30	38,30	38,90	3,60	6,00	38,40	6,20	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	2,00
Agosto	50,30	32,20	1,00	1,50	11,70	16,20	34,10	16,80	62,50	0,00	45,80	20,80	32,80	1,40	0,00	3,50	0,90	9,00	2,80	19,30	130,90	31,30	5,90	16,70	0,00	24,20	42,40	0,00	0,00	24,40	0,00
Setiembre	56,40	97,20	10,50	51,20	94,40	30,10	101,00	11,00	17,00	0,00	86,70	166,60	126,80	269,20	51,20	20,70	113,70	21,00	69,50	33,30	168,90	3,40	124,10	169,00	41,40	3,50	39,40	0,00	32,50	74,10	42,30
Octubre	63,60	163,20	135,10	21,50	75,60	92,50	33,50	57,00	191,00	19,10	61,20	100,30	41,80	66,30	98,80	112,80	99,70	176,00	47,00	155,90	247,00	56,40	56,00	50,60	204,70	188,30	72,30	138,10	60,60	97,70	89,10
Noviembre	81,20	31,70	87,90	71,60	42,70	31,00	57,50	105,50	17,50	30,40	31,80	21,00	42,20	69,60	83,60	123,40	110,40	54,50	97,00	133,50	68,50	67,70	45,60	32,00	92,00	15,60	72,60	159,20	50,30	44,60	135,50
Diciembre	41,20	11,90	6,50	40,40	14,90	26,40	25,80	95,50	0,30	65,30	30,00	103,50	116,80	142,00	46,70	23,80	88,80	89,20	42,90	36,40	13,40	66,10	46,00	99,60	104,60	94,00	43,40	0,00	121,70	12,40	26,30

**Tabla 92**

*Datos completos de precipitaciones para la estación Cutervo.*

Estación : CUTERVO, Tipo Convencional - Meteorológica, altitud: 2 668 m s.n.m.																															
Datos de precipitación media (mm)																															
Mes/Año	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	4,04	6,53	2,47	1,26	1,34	3,76	3,27	1,19	1,68	2,39	1,79	5,07	1,99	4,69	1,71	3,05	2,20	1,94	5,44	4,36	3,49	4,25	1,11	2,90	9,61	6,71	1,20	9,61	2,97	4,22	4,60
Febrero	2,45	4,55	4,21	2,24	3,07	4,07	5,24	1,42	4,57	6,80	5,13	12,47	8,53	2,89	4,20	6,62	2,66	6,04	5,05	1,57	9,03	5,97	5,99	4,79	5,61	3,14	2,95	3,79	4,03	3,64	1,92
Marzo	2,24	3,88	2,05	3,22	3,46	10,46	7,17	2,91	4,80	1,55	9,23	2,97	7,20	7,96	3,31	5,07	1,39	5,73	10,01	5,85	3,39	2,44	6,15	4,81	5,10	6,65	6,41	8,05	5,63	10,77	5,96
Abril	6,88	2,67	8,84	2,07	2,91	4,23	8,31	1,78	3,13	2,81	4,94	3,21	3,59	3,25	3,93	3,28	5,00	2,00	4,19	5,26	4,48	3,84	3,73	4,33	4,20	2,88	2,54	5,14	5,87	3,99	5,43
Mayo	1,28	1,57	2,76	0,87	1,83	2,06	1,61	1,32	2,47	0,95	4,74	1,79	2,43	3,41	2,06	0,84	1,70	1,58	0,86	3,56	2,47	1,92	2,26	0,75	1,37	8,33	3,49	2,18	2,24	4,17	3,85
Junio	0,61	1,72	1,57	0,65	1,46	0,23	0,50	0,59	2,46	1,21	0,31	4,26	2,06	0,08	0,31	0,59	0,40	0,65	1,47	0,14	0,99	1,79	0,51	0,62	0,08	1,00	0,48	0,22	1,05	1,79	0,47
Julio	0,76	0,51	1,03	0,44	0,95	1,63	0,35	0,45	0,12	0,15	0,00	1,31	1,40	0,43	1,51	0,02	1,26	0,29	0,98	0,89	0,42	1,16	1,62	0,60	0,16	0,46	1,09	0,37	0,43	0,24	1,24
Agosto	0,11	0,65	0,41	0,64	1,76	1,89	0,01	1,09	1,38	0,47	0,20	0,22	0,79	0,06	0,08	0,72	0,43	0,07	0,40	0,72	1,94	0,35	0,15	2,51	0,21	2,24	0,61	0,09	0,38	1,49	1,06
Setiembre	1,98	2,72	1,43	1,76	3,67	4,19	2,31	0,78	0,99	0,53	1,98	4,26	2,58	2,31	1,85	0,82	1,33	1,37	0,92	0,75	3,04	0,84	2,68	3,59	1,05	0,70	1,58	0,19	1,91	2,56	1,08
Octubre	1,53	5,19	5,88	3,61	2,75	4,55	0,57	3,55	8,81	2,11	3,93	3,58	0,31	3,84	3,80	2,00	5,42	8,47	3,63	6,30	7,21	3,06	2,75	3,73	4,99	4,41	2,38	3,66	1,74	4,31	6,75
Noviembre	5,58	2,33	4,72	2,03	2,42	3,41	5,08	3,34	2,12	2,35	3,86	3,33	0,83	3,05	5,21	4,39	7,72	2,07	3,96	6,24	3,38	3,49	2,78	3,28	2,96	0,82	4,00	4,81	2,19	3,81	5,90
Diciembre	2,47	1,05	1,72	3,56	2,02	6,34	4,32	8,07	1,32	3,32	2,98	6,58	5,65	3,65	3,00	2,25	2,94	4,01	2,66	2,03	2,86	2,30	3,03	8,78	3,06	4,08	4,93	1,72	7,62	4,26	2,40
Datos de precipitación máxima (mm)																															
Mes/Año	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	18,00	28,00	30,00	14,50	9,20	30,00	23,00	10,20	15,10	24,20	10,00	37,80	14,80	34,00	12,70	19,00	25,50	13,50	27,00	31,30	28,00	16,00	13,90	30,50	40,50	49,00	16,30	35,00	16,20	41,00	35,11
Febrero	14,00	24,80	22,40	29,00	26,80	16,50	25,00	11,00	23,40	36,00	54,00	57,00	50,00	12,10	21,30	40,00	33,00	42,40	25,40	9,40	38,30	28,80	49,30	25,00	19,90	21,50	34,20	36,60	26,40	32,00	28,78
Marzo	17,90	24,00	22,40	22,40	31,00	42,20	39,00	24,80	31,20	20,80	49,00	22,80	30,80	49,10	27,80	32,00	11,40	25,20	49,50	25,80	15,20	7,23	50,40	32,40	34,30	32,90	65,00	34,60	25,80	27,80	28,78
Abril	74,10	30,00	52,00	13,02	23,80	33,20	81,50	17,40	22,40	13,40	26,00	20,00	40,90	33,20	41,90	29,00	33,10	11,60	37,00	49,70	23,80	28,30	24,40	25,70	29,70	31,90	27,20	43,20	33,80	23,70	46,53
Mayo	10,50	18,70	19,80	9,00	16,90	13,80	12,50	9,50	21,90	8,00	65,70	16,60	22,50	18,00	27,00	10,20	13,70	18,60	7,40	27,30	20,80	13,80	15,50	10,60	8,80	59,00	20,50	11,00	30,50	32,00	26,33
Junio	9,00	12,00	7,00	8,00	14,50	3,20	4,50	5,00	34,20	12,20	3,00	28,00	13,90	1,50	3,40	10,50	5,10	15,10	14,80	4,00	11,70	17,00	4,80	6,30	1,20	10,10	11,10	2,30	10,30	23,10	12,19
Julio	11,10	9,20	8,70	12,00	8,50	17,50	5,00	6,00	2,40	2,00	0,00	20,30	14,80	3,80	9,00	0,50	7,40	4,50	12,50	15,20	6,20	11,60	28,90	7,00	2,00	2,40	11,80	4,00	5,00	5,30	14,27
Agosto	3,40	13,20	6,40	11,00	24,00	19,00	0,30	25,50	8,20	5,30	1,60	4,50	8,10	2,00	1,80	7,20	6,00	2,20	3,50	7,80	18,50	2,80	4,80	9,03	4,00	25,50	6,20	1,50	3,50	25,40	11,45
Setiembre	11,00	36,20	12,30	17,40	22,00	52,00	17,80	7,30	8,40	5,50	23,30	35,60	16,00	15,30	40,00	6,60	12,90	16,20	10,80	15,10	22,20	16,40	26,30	23,30	22,20	8,70	10,40	4,60	32,00	21,20	20,50
Octubre	15,60	38,50	43,00	23,00	19,00	21,20	6,80	33,70	39,50	23,50	51,00	31,00	5,30	36,20	54,40	22,00	29,10	46,70	23,50	46,50	35,20	25,90	26,20	30,10	39,80	15,30	26,70	23,60	22,20	28,69	42,80
Noviembre	33,20	28,00	24,00	15,80	15,30	25,50	38,00	19,20	19,50	15,00	34,30	44,20	9,00	28,30	22,20	34,70	38,60	18,70	32,40	26,00	47,13	14,80	29,00	21,40	13,30	12,20	28,80	20,20	51,00	26,28	32,40
Diciembre	17,20	29,50	17,00	31,20	12,50	52,00	26,80	31,00	11,00	25,30	43,50	33,00	34,00	26,10	22,10	12,60	16,70	18,00	18,60	24,90	24,40	22,70	18,60	35,20	17,50	28,50	35,00	7,80	27,50	27,58	19,50
Datos de precipitación total (mm)																															
Mes/Año	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	125,20	202,40	76,60	39,10	41,40	116,50	101,50	37,00	52,20	74,00	55,50	157,10	61,80	145,40	52,90	94,70	68,30	60,00	168,70	135,30	108,22	131,70	34,40	89,90	298,00	208,10	37,20	297,90	92,20	130,70	142,60
Febrero	71,00	127,50	118,00	62,80	89,10	114,00	146,70	39,80	132,40	190,30	143,50	349,20	247,40	81,00	117,60	185,40	77,20	169,00	141,30	44,00	261,90	167,10	167,62	134,00	162,80	88,00	82,70	106,00	116,90	102,00	53,76
Marzo	69,30	120,31	63,40	99,82	107,40	324,20	222,40	90,20	148,70	48,10	286,10	92,20	223,30	246,80	102,70	157,20	43,20	177,50	310,20	181,30	105,03	75,64	190,51	149,10	158,21	206,20	198,70	249,50	174,60	333,90	184,76
Abril	206,30	80,21	265,20	62,10	87,20	126,80	249,20	53,40	93,80	84,20	148,30	96,30	107,80	97,40	117,80	98,50	150,10	60,10	125,82	157,91	134,52	115,10	111,92	129,90	126,10	86,50	76,20	154,30	176,10	119,70	162,90
Mayo	39,80	48,70	85,50	26,90	56,70	64,00	49,80	41,00	76,50	29,40	146,90	55,60	75,20	105,60	63,90	25,90	52,60	48,90	26,60	110,31	76,50	59,60	70,10	23,40	42,40	258,20	108,20	67,50	69,50	129,30	119,35
Junio	18,20	51,70	47,20	19,40	43,90	7,00	15,00	17,70	73,70	36,40	9,40	127,80	61,80	2,30	9,20	17,60	12,10	19,40	44,01	4,31	29,80	53,72	15,44	18,60	2,40	30,10	14,40	6,50	31,50	53,70	14,10
Julio	23,60	15,70	31,80	13,70	29,60	50,60	10,80	13,80	3,60	4,80	0,00	40,60	43,50	13,20	46,70	0,50	39,20	8,91	30,51	27,70	13,11	35,81	50,30	18,70	5,10	14,20	33,90	11,60	13,20	7,30	38,44
Agosto	3,40	20,10	12,70	19,90	54,70	58,50	0,30	33,90	42,80	14,70	6,20	6,80	24,60	2,00	2,60	22,30	13,30	2,21	12,50	22,31	60,01	10,70	4,80	77,81	6,60	69,30	19,00	2,70	11,70	46,10	32,86
Setiembre	59,50	81,60	42,80	52,70	110,00	125,70	69,40	23,50	29,70	15,90	59,50	127,90	77,50	69,40	55,40	24,70	40,00	41,10	27,61	22,40	91,11	25,21	80,40	107,70	31,40	20,90	47,40	5,60	57,40	76,90	32,30
Octubre	47,42	160,80	182,40	111,90	85,30	141,20	17,60	110,00	273,10	65,30	121,90	111,00	9,60	118,90	117,80	61,90	168,00	262,60	112,60	195,30	223,40	94,81	85,40	115,50	154,70	136,70	73,70	113,60	53,80	133,61	209,20
Noviembre	167,30	69,80	141,70	61,00	72,60	102,30	152,40	100,20	63,70	70,40	115,70	99,90	24,80	91,60	156,40	131,80	231,50	62,00	118,81	187,30	101,40	104,80	83,30	98,50	88,90	24,60	120,00	144,40	65,60	114,30	177,00
Diciembre	76,50	32,52	53,40	110,40	62,50	196,50	134,00	250,10	40,90	102,80	92,40	204,10	175,20	113,00	93,00	69,60	91,20	124,30	82,41	62,80	88,										

**Tabla 93**

*Datos completos de precipitaciones para la estación Hacienda Pucara.*

Estación : HACIENDA PUCARA, Tipo Convencional - Meteorológica, altitud: 1 061,6 m s.n.m.																															
Datos de precipitación media (mm)																															
Mes/Año	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	3,10	3,27	0,005	1,10	6,02	1,28	1,59	0,47	0,77	1,30	1,13	2,77	1,55	3,90	1,06	0,61	0,80	0,32	4,45	2,21	2,19	4,67	0,39	1,28	2,99	1,63	1,28	4,52	1,49	1,22	3,42
Febrero	6,49	4,54	1,90	5,04	1,37	4,07	2,58	1,06	1,71	2,36	2,47	5,30	4,96	2,47	1,44	2,06	0,93	4,02	4,49	0,98	5,60	2,83	4,69	2,80	3,42	1,23	1,74	4,11	1,59	0,74	1,38
Marzo	4,26	6,58	1,94	3,23	3,59	3,63	4,39	1,62	3,26	0,28	5,65	2,49	2,11	4,49	0,94	2,81	0,45	5,52	6,77	4,02	3,88	4,66	3,70	2,29	3,67	3,14	4,98	0,37	2,67	7,29	0,99
Abril	6,67	9,57	0,37	4,27	0,68	3,84	4,37	1,29	2,53	1,49	4,86	1,88	4,18	0,85	2,85	1,11	4,59	1,08	3,38	3,09	2,48	3,18	1,61	4,84	3,45	0,69	1,59	1,23	3,37	2,56	1,65
Mayo	0,004	0,004	0,00	1,04	7,01	0,55	0,99	0,35	0,44	0,30	1,44	2,65	1,83	2,14	0,79	0,94	1,56	0,46	0,46	1,99	0,90	0,25	0,53	1,61	0,43	4,35	3,58	1,15	0,84	3,00	2,83
Junio	0,00	2,34	0,00	0,003	0,002	0,23	0,40	0,02	0,54	0,38	0,46	1,02	1,44	0,13	0,17	0,81	0,13	0,23	0,59	0,04	0,99	0,30	0,14	0,08	0,13	0,10	0,33	0,04	0,11	0,13	0,26
Julio	0,97	0,84	0,00	0,42	0,00	0,13	0,02	0,52	0,00	0,14	0,00	0,22	0,12	0,35	0,76	0,10	0,36	0,003	0,85	0,31	0,16	0,21	0,01	0,14	0,07	0,08	0,24	0,34	0,02	0,00	0,19
Agosto	0,00	0,004	0,00	0,43	0,00	0,14	0,05	0,03	0,05	0,05	0,33	0,03	0,25	0,00	0,00	0,08	0,00	0,35	0,07	0,40	0,62	0,31	0,10	0,03	0,03	0,59	0,24	0,02	0,09	1,39	0,01
Setiembre	0,00	0,002	0,00	0,72	0,00	0,86	1,50	0,15	0,44	0,10	2,33	2,49	2,01	1,65	0,08	0,41	1,61	0,62	0,12	0,26	0,34	0,21	0,42	0,73	0,09	0,18	0,51	0,01	1,95	0,61	0,02
Octubre	0,003	0,002	0,00	1,67	3,37	2,05	0,21	0,76	1,96	0,76	2,87	0,96	0,12	2,80	3,22	2,49	3,10	1,62	1,63	5,15	4,54	2,36	2,00	3,25	3,76	2,75	1,14	0,27	0,96	0,95	1,25
Noviembre	0,001	0,73	10,44	1,31	1,09	1,68	1,91	3,47	1,67	1,22	1,63	1,34	0,65	2,39	2,35	1,83	3,04	0,57	1,61	7,79	3,05	1,47	0,78	1,83	2,87	0,97	4,30	2,30	0,08	1,51	5,14
Diciembre	0,00	0,00	0,00	6,00	0,77	4,75	1,40	3,66	0,72	0,26	1,16	2,87	2,57	1,80	1,53	1,53	3,54	3,20	0,68	1,29	1,20	1,11	2,77	3,71	2,16	2,73	0,75	0,32	3,18	1,14	0,50
Datos de precipitación máxima (mm)																															
Mes/Año	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	40,00	10,10	0,01	12,00	28,80	23,40	12,20	2,70	9,50	10,40	17,20	37,60	20,50	50,60	19,60	11,30	10,70	4,00	51,10	47,20	35,30	53,10	7,10	20,60	11,90	15,00	17,00	21,90	16,90	9,30	33,80
Febrero	27,00	19,00	14,00	25,00	10,20	40,20	14,20	10,60	10,40	12,10	50,40	32,00	70,50	51,80	12,10	24,30	20,00	50,20	40,50	13,00	30,60	17,70	38,00	23,40	21,00	12,70	9,20	82,60	21,30	5,80	17,60
Marzo	25,00	19,00	25,00	20,00	19,50	13,90	31,80	10,60	40,70	5,70	30,20	20,60	10,10	50,00	14,60	30,20	10,90	40,20	35,70	44,90	27,70	28,90	45,10	25,40	30,40	28,20	56,50	10,73	20,30	39,70	6,90
Abril	20,00	39,00	6,00	25,00	9,00	24,40	30,40	20,10	22,10	11,70	30,50	10,90	35,90	11,00	30,20	10,20	50,10	20,90	30,20	21,80	20,90	25,30	12,50	30,40	39,80	6,10	11,50	14,10	35,60	13,60	15,90
Mayo	0,01	0,01	0,00	11,00	18,20	10,70	9,80	4,00	4,50	4,40	20,40	28,20	14,10	40,30	18,40	10,60	10,40	9,40	5,60	16,50	15,40	3,50	8,20	15,80	12,60	47,50	23,50	15,00	24,00	33,10	17,60
Junio	0,00	20,00	0,00	0,01	0,01	3,70	7,00	0,50	10,30	3,60	7,90	7,10	10,20	2,10	4,50	10,50	2,40	3,20	6,80	1,10	9,50	2,80	3,60	0,60	1,70	1,30	2,90	0,40	1,60	1,50	5,60
Julio	15,00	10,00	0,00	3,92	0,00	2,30	0,50	10,30	0,00	4,00	0,00	2,10	1,80	5,10	10,10	2,20	7,90	0,10	20,50	3,10	3,30	3,10	0,30	3,30	0,80	1,50	3,50	3,40	0,70	0,00	2,90
Agosto	0,00	0,01	0,00	3,74	0,00	1,70	1,10	0,60	1,30	1,40	5,30	0,70	4,60	0,00	0,00	2,50	0,00	10,30	1,90	7,80	11,60	8,10	2,20	0,80	0,50	13,90	3,50	0,50	1,60	25,30	0,30
Setiembre	0,00	0,01	0,00	4,04	0,00	22,40	23,30	2,50	10,30	2,70	60,10	20,60	20,50	20,90	1,30	10,10	31,40	11,60	2,10	5,30	4,00	2,50	7,10	9,20	1,00	2,40	4,80	0,40	49,40	13,00	0,30
Octubre	0,01	0,01	0,00	20,89	20,00	30,40	2,50	10,00	20,70	7,50	40,80	9,10	2,60	50,60	40,60	61,30	20,40	12,00	20,30	45,60	40,20	39,70	42,60	31,80	28,30	20,40	19,90	5,40	17,80	14,00	25,50
Noviembre	0,01	12,00	40,00	20,46	13,30	30,60	20,30	20,20	20,70	10,10	30,30	26,50	10,40	32,80	17,80	30,10	28,30	10,20	13,80	60,70	52,50	11,70	9,20	22,00	27,60	28,00	58,20	26,00	1,40	12,50	29,50
Diciembre	0,00	0,00	0,01	18,67	10,40	43,30	10,80	23,60	11,80	2,60	11,80	30,40	12,70	14,90	11,40	20,90	46,80	22,70	10,30	26,40	19,20	20,40	27,60	23,10	24,70	14,00	3,80	6,80	17,20	16,20	4,00
Datos de precipitación total (mm)																															
Mes/Año	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	96,10	101,25	0,16	34,12	186,66	39,70	49,20	14,70	23,80	40,30	35,00	86,00	48,10	121,00	33,00	18,90	24,70	9,90	138,10	68,40	67,81	144,90	12,22	39,70	92,81	50,62	39,80	140,10	46,10	37,90	106,10
Febrero	188,11	127,12	53,19	141,11	39,63	114,00	72,10	29,60	49,70	66,00	69,20	148,50	143,80	69,10	40,40	57,60	27,10	112,50	125,80	27,30	162,31	79,31	131,24	78,44	99,22	34,31	48,60	115,00	46,00	20,80	38,50
Marzo	132,09	204,08	60,15	100,12	111,32	112,60	136,00	50,20	101,20	8,70	175,30	77,20	65,30	139,30	29,20	87,10	13,90	171,20	210,00	124,60	120,22	144,61	114,62	70,91	113,71	97,30	154,40	11,47	82,80	226,10	30,80
Abril	200,08	287,05	11,12	128,11	20,38	115,10	131,00	38,70	75,90	44,70	145,70	56,30	125,30	25,60	85,50	33,30	137,80	32,50	101,50	92,80	74,52	95,31	48,34	145,22	103,40	20,60	47,80	36,80	101,10	76,70	49,50
Mayo	0,11	0,12	0,00	32,13	217,29	17,10	30,60	10,80	13,50	9,20	44,50	82,10	56,60	66,20	24,60	29,10	48,30	14,30	14,40	61,60	27,92	7,73	16,32	50,01	13,40	134,90	111,10	35,50	26,00	92,90	87,70
Junio	0,00	70,09	0,00	0,10	0,07	6,80	11,90	0,50	16,20	11,30	13,70	30,60	43,20	3,90	5,10	24,40	4,00	6,80	17,80	1,11	29,80	8,91	4,14	2,31	3,83	3,00	9,90	1,30	3,40	3,80	7,80
Julio	30,12	26,14	0,00	13,02	0,00	4,10	0,50	16,00	0,00	4,20	0,00	6,90	3,80	11,00	23,50	3,00	11,20	0,10	26,40	9,72	4,91	6,44	0,32	4,21	2,20	2,40	7,40	10,50	0,70	0,00	5,80
Agosto	0,00	0,12	0,00	13,33	0,00	4,20	1,70	1,00	1,40	1,40	10,10	0,80	7,90	0,00	0,00	2,50	0,00	11,00	2,10	12,51	19,12	9,70	3,11	1,00	1,01	18,40	7,50	0,60	2,90	43,10	0,30
Setiembre	0,00	0,07	0,00	21,60	0,00	25,80	44,90	4,40	13,10	2,90	70,00	74,80	60,30	49,40	2,50	12,20	48,20	18,70	3,60	7,70	10,13	6,22	12,61	21,92	2,60	5,50	15,20	0,40	58,40	18,30	0,60
Octubre	0,09	0,06	0,00	51,77	104,50	63,70	6,60	23,50	60,70	23,70	89,10	29,90	3,60	86,80	99,80	77,20	96,10	50,20	50,60	159,60	140,73	73,30	61,90	100,80	116,60	85,20	35,40	8,30	29,90	29,30	38,60
Noviembre	0,03	22,04	313,09	39,30	32,70	50,50	57,40	104,10	50,20	36,70	48,80	40,30	19,40	71,60	70,60	54,90	91,10	17,10	48,30	233,80	91,41	44,20	23,41	54,90	86,20	29,10	129,10	68,90	2,50	45,30	154,30
Diciembre	0,00	0,00	0,01	186,00	24,00	147,10	43,50	113,60	22,30	8,00	35,90	88,90	79,80	55,70	47,30	47,30	109,70	99,30	21,20	39,92	37,30	34,41	85,82	115,00	66,90	84,60	23,10	9,90	98,60	35,30	15,50



**Tabla 94**

*Datos completos de precipitaciones para la estación Llama.*

Estación : LLAMA, Tipo Convencional - Meteorológica, altitud: 2 096 m s.n.m.																															
Datos de precipitación media (mm)																															
Mes/Año	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	3,11	4,43	0,00	0,09	3,08	2,23	3,01	2,17	1,53	1,23	7,71	1,44	2,19	3,21	0,34	3,31	2,34	1,34	2,07	1,25	6,21	8,41	2,00	2,79	7,29	2,16	1,83	2,66	5,38	5,02	3,10
Febrero	4,68	6,50	2,42	0,66	2,60	6,56	4,88	6,23	3,54	3,86	14,78	13,59	8,04	5,14	8,49	5,94	3,12	6,01	8,74	1,87	16,99	4,80	7,69	4,96	10,23	2,56	1,84	3,34	5,58	16,77	2,29
Marzo	0,70	3,96	2,60	6,59	7,35	13,81	6,29	2,88	6,25	3,28	9,02	6,84	10,79	14,75	7,49	1,47	1,59	12,26	10,26	6,44	9,96	13,60	7,49	1,92	9,75	9,77	4,82	11,65	6,36	26,36	2,70
Abril	2,98	4,96	1,27	1,08	6,11	4,77	3,81	0,50	3,11	4,66	10,94	5,49	5,88	5,37	7,08	2,04	1,63	0,79	2,74	3,86	9,06	2,26	6,93	8,52	8,83	1,34	0,91	1,47	4,73	2,24	5,51
Mayo	1,44	0,58	0,13	0,32	4,12	2,30	0,53	1,33	1,45	0,13	3,23	3,56	4,89	0,58	0,57	0,95	1,17	0,07	0,35	1,41	1,28	2,25	1,59	0,68	1,18	4,73	3,34	1,48	0,61	4,71	4,07
Junio	0,71	0,96	0,13	0,00	0,00	0,20	0,001	0,0003	0,30	0,001	0,82	1,68	0,61	0,11	0,03	2,56	0,02	0,26	0,94	0,0003	0,39	1,00	0,60	0,20	0,61	0,02	0,06	0,11	0,18	0,75	0,10
Julio	0,32	0,0003	0,0003	0,32	0,63	0,0003	0,00	0,56	0,79	0,68	0,0003	0,33	0,001	0,03	0,12	0,23	0,73	0,00	0,26	0,03	0,17	0,02	0,10	0,47	0,0003	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agosto	0,24	0,29	0,00	0,00	0,74	0,23	0,00	0,23	0,24	0,0003	0,04	0,06	0,82	0,00	0,00	0,0003	0,00	0,0003	0,01	0,13	0,61	0,16	0,10	0,08	0,001	0,17	0,21	0,0003	0,01	0,05	0,00
Setiembre	0,11	0,51	0,05	0,09	0,41	0,64	0,50	0,001	0,58	0,41	0,51	0,96	1,64	1,90	0,15	0,14	1,34	0,11	0,17	0,13	1,49	0,02	1,00	1,36	0,43	0,00	0,35	0,02	0,16	1,12	0,18
Octubre	0,84	1,96	2,20	0,39	0,28	1,50	0,97	1,40	1,64	0,33	0,77	0,32	0,05	0,57	1,34	0,27	1,73	2,41	0,05	2,60	2,53	0,85	0,65	1,69	1,67	2,22	3,13	1,15	0,46	1,17	2,40
Noviembre	2,68	0,42	1,66	0,80	0,71	1,10	1,58	0,63	0,08	1,71	0,30	0,15	0,38	2,37	0,66	1,24	1,40	0,53	1,77	2,09	2,93	2,12	0,67	0,85	1,78	0,15	1,66	2,38	0,56	0,43	3,24
Diciembre	2,68	0,08	0,07	0,53	0,84	2,48	1,40	2,87	0,26	5,68	1,51	3,15	2,78	2,14	1,80	2,27	1,97	1,93	0,37	0,18	0,62	3,34	1,17	3,09	1,20	1,84	1,84	0,26	1,99	0,16	0,29
Datos de precipitación máxima (mm)																															
Mes/Año	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	25,30	21,30	0,00	2,70	26,20	15,00	13,00	30,40	14,50	7,90	90,30	10,20	19,10	25,00	3,70	22,90	13,60	12,60	25,30	13,50	44,80	50,70	24,10	13,60	27,20	18,70	18,90	14,20	45,10	23,00	24,70
Febrero	37,10	29,80	21,40	18,60	14,00	36,20	26,00	48,50	26,50	23,70	85,00	41,60	28,00	43,10	123,30	68,00	28,00	28,10	27,90	17,10	62,30	21,00	80,70	42,90	42,90	17,10	15,10	19,00	41,90	73,50	9,80
Marzo	9,30	39,50	25,50	36,50	50,60	88,40	49,20	16,20	40,50	63,40	40,30	38,80	58,90	67,20	36,60	10,80	33,90	55,30	59,70	40,30	43,00	61,90	70,70	14,40	72,20	65,80	32,50	55,50	43,10	126,30	20,80
Abril	32,70	29,10	10,90	9,80	47,00	40,20	40,60	8,20	27,90	29,30	53,00	30,00	38,70	31,30	52,50	19,30	14,50	8,80	14,70	19,80	68,80	24,30	75,80	48,10	43,40	15,80	16,30	16,20	54,50	15,90	91,00
Mayo	21,00	6,50	2,40	5,20	60,30	19,30	7,90	13,20	13,10	2,20	23,20	30,60	33,80	5,50	7,90	23,60	10,80	2,30	9,30	24,20	7,30	33,00	19,00	9,20	13,90	24,50	22,70	21,90	9,30	42,20	24,90
Junio	13,50	22,50	4,00	0,00	6,00	0,01	0,01	0,01	9,10	0,01	17,20	26,40	6,20	1,90	0,50	22,70	0,40	4,70	12,50	0,01	6,10	15,80	17,00	5,90	18,20	0,60	1,20	2,40	2,70	13,00	2,80
Julio	7,00	0,01	0,01	9,80	3,81	0,01	0,00	7,40	15,00	21,20	0,01	7,20	0,01	0,80	3,80	3,70	13,70	0,00	4,50	0,80	4,90	0,50	2,50	8,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agosto	6,10	9,00	0,00	0,00	21,62	7,20	0,00	7,00	5,60	0,01	1,10	1,90	22,50	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,40	4,10	5,00	4,30	3,20	2,40	0,01	2,90	6,40	0,01	0,20	1,50	0,00
Setiembre	3,20	8,30	1,60	2,80	5,00	13,20	12,10	0,01	8,00	6,60	13,00	17,40	10,00	13,10	2,60	2,10	18,50	3,30	2,30	2,60	16,00	0,70	17,50	10,70	13,00	0,00	9,70	0,70	2,50	15,50	4,00
Octubre	17,20	14,60	27,40	5,70	5,30	12,80	19,50	14,80	12,50	5,10	6,80	3,30	0,70	3,60	10,40	4,40	14,60	27,00	0,90	20,80	20,50	11,80	13,60	17,10	11,00	34,60	25,50	7,70	5,60	15,10	34,20
Noviembre	36,00	4,40	17,50	12,50	11,30	13,20	12,60	7,60	2,30	15,80	4,50	2,40	8,70	15,00	4,20	10,10	14,70	11,60	12,00	18,50	29,10	38,20	13,10	5,70	18,00	2,00	27,10	18,70	6,20	7,00	34,20
Diciembre	21,57	2,40	2,20	3,40	19,80	20,80	20,50	21,80	2,30	81,80	11,70	22,80	18,90	14,70	26,40	26,20	12,70	19,70	2,00	1,90	6,30	39,50	11,10	29,40	20,70	29,00	18,60	7,70	9,80	4,30	3,20
Datos de precipitación total (mm)																															
Mes/Año	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	96,31	137,30	0,00	2,72	95,34	69,18	93,42	67,14	47,29	38,11	239,13	44,61	67,84	99,51	10,43	102,54	72,50	41,41	64,30	38,71	192,63	260,63	61,93	86,42	226,00	67,03	56,70	82,61	166,90	155,60	96,10
Febrero	135,61	182,00	67,80	18,61	75,45	183,75	136,60	174,32	102,79	108,16	413,72	380,44	233,30	144,02	237,82	166,20	90,43	168,22	244,71	52,42	492,62	134,50	215,41	139,00	296,80	71,81	51,60	93,61	161,80	469,50	64,20
Marzo	21,81	122,90	80,75	204,19	227,80	427,96	194,90	89,22	193,87	101,53	279,76	211,95	334,64	457,20	232,34	45,55	49,20	380,01	318,01	199,51	308,90	421,50	232,11	59,41	302,32	303,01	149,50	361,01	197,30	817,20	83,60
Abril	89,32	148,81	38,07	32,53	183,33	143,01	114,29	15,04	93,30	139,94	328,07	164,84	176,54	161,04	212,34	61,15	48,80	23,55	82,12	115,92	271,80	67,65	207,80	255,71	265,00	40,30	27,30	44,10	142,00	67,10	165,30
Mayo	44,60	18,08	4,04	9,82	127,84	71,22	16,38	41,36	44,83	4,07	100,13	110,37	151,62	17,97	17,52	29,51	36,23	2,32	10,72	43,61	39,71	69,63	49,30	21,21	36,52	146,50	103,60	45,81	19,00	145,90	126,10
Junio	21,30	28,73	4,03	0,00	6,00	0,02	0,01	9,10	0,04	24,71	50,34	18,34	3,33	1,00	76,71	0,50	7,70	28,10	0,01	11,71	29,90	17,92	6,12	18,32	0,60	1,70	3,21	5,40	22,40	3,10	
Julio	9,80	0,01	0,01	9,80	19,53	0,01	0,00	17,45	24,50	21,20	0,01	10,30	0,02	0,83	3,81	7,21	22,50	0,00	8,01	0,82	5,30	0,50	3,21	14,72	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agosto	7,40	9,00	0,00	0,00	22,94	7,22	0,00	7,02	7,42	0,01	1,12	1,91	25,52	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,40	4,12	18,90	4,92	3,21	2,40	0,02	5,40	6,41	0,01	0,20	1,50	0,00
Setiembre	3,20	15,41	1,62	2,84	12,43	19,23	14,92	0,02	17,31	12,37	15,44	28,71	49,24	56,90	4,60	4,21	40,31	3,30	5,12	3,90	44,71	0,70	30,11	40,80	13,01	0,00	10,61	0,70	4,90	33,70	5,40
Octubre	26,10	60,65	68,20	12,14	8,82	46,55	30,01	43,42	50,97	10,23	23,95	9,92	1,61	17,72	41,52	8,43	53,52	74,71	1,70	80,64	78,51	26,33	20,01	52,50	51,86	68,90	97,10	35,61	14,40	36,40	74,30
Noviembre	80,25	12,60	49,82	23,92	21,23	33,12	47,53	18,79	2,32	51,27	8,92	4,60	11,52	71,02	19,65	37,34	42,02	16,01	53,10	62,84	87,83	63,50	20,20	25,35	53,53	4,40	49,90	71,40	16,80	12,90	97,20
Diciembre	83,08	2,40	2,25	16,40	26,01	76,97	43,28	89,07	8,02	175,94	46,81	97,54	86,23	66,42	55,92	70,24	60,92	59,92	11,53	5,72	19,20	103,61	36,24	95,90	37,25	57,00	56,90	8,20	61,80	5,10	9,00

**Tabla 95**

*Datos completos de precipitaciones para la estación Quebrada Shugar.*

Estación : QUEBRADA SHUGAR, Tipo Convencional - Meteorológica, altitud: 3 292,7 m s.n.m.																															
Datos de precipitación media (mm)																															
Mes/Año	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	3,51	4,09	1,09	2,46	1,84	2,98	2,47	1,95	2,98	1,92	2,23	4,41	1,83	6,32	1,98	4,41	1,54	2,05	5,03	6,10	5,97	9,37	3,17	2,38	6,47	4,17	5,25	5,44	3,22	6,22	4,43
Febrero	5,94	3,52	0,86	2,40	2,11	1,99	3,18	1,54	4,69	1,60	3,61	10,14	6,26	2,33	4,88	5,45	2,76	5,18	4,66	1,97	8,61	5,06	4,16	2,26	7,21	3,93	4,80	3,54	2,90	3,37	5,18
Marzo	2,49	4,23	0,30	1,75	3,49	3,15	2,52	2,50	3,73	2,18	4,71	1,95	6,33	8,40	6,37	3,47	3,34	5,63	9,33	6,06	5,89	4,65	4,34	7,26	4,13	9,77	7,98	7,95	8,48	7,76	3,99
Abril	2,32	2,75	2,36	3,64	2,70	3,40	2,37	0,86	2,21	4,50	3,29	1,34	2,84	1,43	5,50	4,17	2,49	4,71	1,87	4,98	3,52	4,39	2,29	4,59	3,76	3,62	2,37	2,24	1,18	3,77	3,07
Mayo	0,97	0,26	1,58	0,57	0,73	2,47	0,88	1,99	0,91	0,78	1,57	2,66	3,05	1,71	2,20	1,59	2,16	0,35	0,34	0,94	2,25	2,94	2,29	1,67	1,25	3,29	3,19	3,00	0,60	2,64	2,75
Junio	0,00	0,53	1,15	0,25	2,07	0,22	0,73	0,94	0,34	0,82	0,09	3,48	2,53	0,15	0,09	1,39	1,16	0,10	1,12	0,08	0,57	1,17	1,37	0,60	0,37	0,23	0,13	0,29	0,66	1,18	1,39
Julio	0,001	0,28	0,16	0,70	0,49	0,001	0,04	0,86	0,10	0,001	0,001	0,26	0,90	0,15	1,18	0,04	1,47	0,20	0,93	0,75	0,10	0,60	0,91	0,64	0,02	0,55	0,41	0,34	0,22	0,10	0,63
Agosto	0,0003	0,001	0,21	0,001	1,07	0,73	0,09	0,001	0,58	0,48	0,14	0,18	0,22	0,01	0,01	1,33	0,65	0,11	0,10	1,23	0,87	0,19	0,11	0,26	0,28	2,17	0,33	0,95	0,34	1,56	0,26
Setiembre	1,60	1,98	0,89	1,21	3,06	0,91	1,56	0,76	0,78	1,17	1,89	3,03	2,10	1,71	1,31	2,64	0,71	1,24	1,55	1,23	2,92	1,74	1,38	2,67	0,61	0,25	1,63	0,30	0,84	1,67	1,23
Octubre	2,00	3,21	3,05	1,02	2,86	2,45	1,55	3,00	2,84	1,57	6,75	0,90	0,80	3,43	4,31	3,04	4,78	5,21	3,77	3,92	4,87	4,34	1,61	2,26	3,08	4,35	1,39	1,61	2,18	3,59	4,12
Noviembre	3,96	1,89	3,28	1,83	1,79	2,72	2,13	2,94	0,87	3,23	2,45	4,86	4,10	8,68	5,14	3,86	4,96	1,89	3,76	5,03	3,29	5,21	3,47	3,06	4,85	0,91	2,59	2,95	2,17	2,71	5,20
Diciembre	2,13	0,99	1,98	3,88	2,28	2,75	3,37	4,87	0,48	3,69	2,37	4,00	4,56	4,09	5,63	3,45	4,16	4,48	5,34	2,32	1,30	4,92	2,70	6,12	4,61	5,21	3,80	4,38	3,53	2,90	3,73
Datos de precipitación máxima (mm)																															
Mes/Año	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	10,10	11,90	8,60	20,90	9,00	20,20	11,20	12,70	14,90	11,10	22,90	30,30	11,70	17,20	14,40	34,90	21,20	14,20	21,90	18,50	27,70	29,00	15,10	16,40	40,40	20,60	27,80	18,10	19,40	44,50	28,50
Febrero	18,50	32,80	8,80	31,80	20,90	9,60	21,50	8,90	20,50	8,80	18,60	38,70	29,80	10,90	21,70	34,30	17,70	27,40	26,20	11,50	30,00	13,40	31,20	11,30	50,30	12,50	23,00	20,70	19,50	21,80	23,00
Marzo	12,20	24,80	3,00	12,60	25,80	23,40	9,80	13,10	24,50	21,80	24,10	22,70	24,50	24,30	25,70	21,00	11,20	26,50	23,00	17,90	17,00	11,70	24,00	30,20	20,00	33,80	34,70	23,13	18,43	37,50	15,70
Abril	10,40	15,00	46,50	19,00	13,50	23,90	14,10	8,50	23,70	29,10	30,00	16,30	13,30	10,90	28,00	18,40	17,40	37,60	17,80	22,90	14,10	13,60	23,60	27,50	15,60	24,70	16,90	20,75	15,30	16,50	16,30
Mayo	9,20	4,80	14,00	10,90	10,20	20,20	7,10	18,50	6,80	5,00	15,10	41,10	24,20	8,60	20,90	11,40	17,40	4,70	2,10	7,60	13,20	18,00	27,20	12,90	13,20	30,90	24,00	24,69	6,40	18,00	14,20
Junio	0,00	13,60	10,00	7,40	21,00	3,50	15,00	8,70	7,00	10,60	2,60	23,50	14,40	2,40	1,60	14,90	23,20	1,60	21,10	1,00	4,80	15,00	11,40	13,90	7,30	3,40	1,90	2,95	11,00	9,80	12,80
Julio	0,01	8,20	4,90	16,50	6,10	0,01	1,20	12,10	3,00	0,01	0,01	5,70	8,70	2,00	8,10	0,60	18,20	3,60	8,60	7,90	1,70	7,70	7,80	5,20	0,50	14,50	9,20	3,80	3,40	1,30	10,00
Agosto	0,01	0,01	3,40	0,01	10,20	9,20	1,70	0,01	9,10	9,90	2,40	2,40	3,60	0,30	0,30	14,70	8,90	2,00	1,50	25,10	7,50	2,20	1,70	4,10	5,70	21,40	7,50	18,30	10,47	14,00	4,00
Setiembre	19,20	11,40	7,10	9,40	21,70	9,90	16,70	9,20	7,50	10,20	35,30	10,20	11,00	12,90	15,40	15,40	14,00	8,40	20,50	18,50	17,30	13,20	18,60	22,30	16,30	3,50	10,40	3,00	11,38	12,70	11,40
Octubre	18,60	16,60	21,80	8,80	33,70	12,80	12,80	16,10	10,30	10,10	29,90	15,60	9,90	20,80	37,20	15,00	24,40	28,40	21,90	18,20	19,60	22,40	7,50	15,00	12,60	23,50	10,90	14,40	10,86	25,70	21,30
Noviembre	30,80	24,50	24,10	12,50	11,50	23,20	19,60	15,00	6,40	31,20	11,00	22,20	35,80	24,30	21,50	21,80	17,80	23,30	17,40	20,90	19,00	17,70	19,70	16,00	23,00	8,50	13,10	15,00	19,31	18,90	18,10
Diciembre	19,20	14,10	12,40	20,80	13,50	12,70	20,70	33,10	8,30	14,50	25,80	15,80	27,80	19,50	28,50	19,40	29,80	25,20	23,60	14,80	12,70	18,50	20,20	25,40	23,70	33,90	17,10	22,30	16,54	10,40	17,80
Datos de precipitación total (mm)																															
Mes/Año	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	108,81	126,92	33,92	76,41	57,02	92,33	76,72	60,53	92,41	59,55	69,00	136,71	56,70	196,00	61,50	136,80	47,80	63,50	156,00	189,10	185,10	290,60	98,20	73,90	200,50	129,20	162,70	168,60	99,90	192,80	137,20
Febrero	172,33	98,52	24,00	67,32	61,31	55,70	88,92	43,23	135,91	44,81	100,96	284,00	181,60	65,30	136,70	152,70	80,10	144,90	130,50	55,10	249,80	141,70	116,40	63,20	209,00	110,10	134,50	99,00	84,10	94,30	145,00
Marzo	77,20	131,16	9,33	54,12	108,16	97,52	78,21	77,62	115,61	67,73	146,05	60,50	196,30	260,50	197,60	107,70	103,50	174,50	289,20	187,80	182,70	144,10	134,50	225,20	128,00	302,80	247,30	246,45	262,88	240,60	123,80
Abril	69,73	82,55	70,94	109,30	81,12	102,02	71,22	25,82	66,31	134,92	98,75	40,20	85,30	43,00	165,00	125,10	74,60	141,20	56,10	149,30	105,50	131,70	68,80	137,70	112,80	108,70	71,10	67,20	35,40	113,00	92,00
Mayo	30,02	7,93	49,13	17,62	22,62	76,42	27,22	61,73	28,33	24,04	48,72	82,60	94,40	52,90	68,10	49,40	67,10	11,00	10,40	29,00	69,70	91,10	71,10	51,90	38,90	102,00	98,80	93,00	18,50	81,70	85,40
Junio	0,00	16,02	34,61	7,40	62,24	6,51	21,95	28,12	10,34	24,62	2,66	104,50	75,90	4,50	2,80	41,60	34,80	2,90	33,70	2,30	17,00	35,10	41,00	17,90	11,10	6,90	3,90	8,70	19,80	35,50	41,60
Julio	0,02	8,70	4,90	21,60	15,32	0,03	1,23	26,74	3,01	0,03	0,04	8,20	27,80	4,60	36,60	1,30	45,70	6,10	28,90	23,10	3,20	18,70	28,10	19,70	0,50	16,90	12,60	10,60	6,90	3,20	19,60
Agosto	0,01	0,04	6,41	0,03	33,24	22,62	2,90	0,04	17,92	14,92	4,30	5,50	6,70	0,30	0,30	41,30	20,30	3,50	3,10	38,20	27,00	6,00	3,40	8,00	8,70	67,30	10,10	29,40	10,54	48,50	8,00
Setiembre	47,92	59,53	26,62	36,43	91,82	27,20	46,72	22,81	23,51	35,23	56,80	90,90	63,00	51,20	39,30	79,10	21,20	37,10	46,40	37,00	87,50	52,20	41,50	80,10	18,20	7,60	48,80	8,90	25,20	50,10	36,90
Octubre	62,15	99,60	94,61	31,53	88,51	75,83	48,15	93,11	87,95	48,52	209,10	27,90	24,70	106,30	133,50	94,30	148,30	161,60	116,80	121,40	151,10	134,40	50,00	70,20	95,50	135,00	43,20	49,80	67,58	111,20	127,70
Noviembre	118,91	56,56	98,41	55,04	53,70	81,62	63,90	88,31	26,22	96,81	73,40	145,70	122,90	260,50	154,10	115,90	148,90	56,80	112,70	151,00	98,60	156,20	104,20	91,70	145,60	27,30	77,70	88,40	65,10	81,20	156,00
Diciembre	66,13	30,82	61,31	120,21	70,61	85,10	104,40	150,91	14,94	114,50	73,40	124,00	141,50	126,70	174,60	106,80	129,00	138,90	165,40	71,90	40,40	152,60	83,60	189,70	142,90	161,60	117,70	135,90	109,43	89,80	115,50

**Tabla 96**

*Datos completos de precipitaciones para la estación Querocotillo.*

Estación : QUEROCOTILLO, Tipo Convencional - Meteorológica, altitud: 1 970 m s.n.m.																															
Datos de precipitación media (mm)																															
Mes/Año	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	0,60	0,92	1,29	0,71	0,31	0,89	2,63	2,60	0,93	2,32	2,55	3,98	2,17	4,68	1,76	2,35	1,86	1,42	3,37	3,74	3,75	3,95	1,03	2,08	5,35	3,95	1,30	6,41	2,78	2,08	4,78
Febrero	1,17	0,68	0,63	1,14	0,86	3,80	5,63	0,93	4,48	6,02	3,79	11,98	4,26	3,69	4,63	4,26	2,75	7,14	5,49	1,28	10,25	4,23	6,15	2,09	4,38	2,98	3,66	4,78	2,35	3,71	2,30
Marzo	0,79	0,76	0,61	0,82	1,03	3,50	5,81	2,61	5,45	0,56	9,53	2,43	3,52	4,29	3,45	3,04	1,86	4,93	8,11	4,17	4,62	8,31	5,36	4,38	4,82	5,36	3,63	10,92	3,59	7,66	4,56
Abril	0,42	0,88	0,78	0,97	0,93	2,22	4,43	1,58	2,97	3,63	9,97	3,84	5,03	3,41	5,49	2,43	5,38	0,81	2,86	3,18	3,95	4,41	6,01	4,10	7,26	4,25	4,29	3,94	5,89	3,76	3,38
Mayo	0,08	0,55	0,76	0,99	0,66	1,07	3,23	1,37	2,52	1,94	3,16	1,65	2,95	3,29	1,92	3,08	3,50	1,26	1,14	3,00	2,18	2,17	1,69	2,55	1,49	5,98	4,46	2,11	3,17	4,80	6,82
Junio	0,13	0,55	0,85	0,38	0,63	0,79	1,35	1,45	1,72	0,92	1,68	3,13	2,90	0,54	1,78	1,92	2,02	2,15	1,98	0,56	1,28	2,34	0,84	1,58	0,59	1,08	1,51	1,39	1,59	2,83	1,88
Julio	0,26	0,58	0,62	0,37	0,44	0,61	1,00	1,10	0,42	0,00	0,29	3,07	0,51	2,54	2,57	0,53	3,22	0,70	0,73	1,40	1,85	1,66	0,67	1,33	1,30	0,57	0,85	1,24	1,22	0,73	1,02
Agosto	0,50	0,66	0,79	0,18	0,40	1,37	0,55	0,32	1,16	0,94	0,24	0,56	1,90	0,63	0,14	0,47	0,69	0,27	0,61	0,99	0,84	1,16	0,17	0,64	0,92	2,25	2,72	0,53	0,90	1,61	1,22
Setiembre	0,67	0,65	0,82	0,75	0,65	0,90	1,97	0,80	0,83	0,73	1,25	2,28	4,54	3,52	0,93	0,52	1,37	0,52	1,36	0,68	2,83	1,69	1,36	2,54	0,48	0,63	1,34	0,55	1,67	1,95	0,49
Octubre	0,16	0,34	1,23	0,23	0,71	3,85	1,35	1,68	3,90	1,89	3,34	2,47	1,31	2,33	4,15	2,55	2,58	5,11	3,50	4,13	4,17	1,79	2,34	4,30	2,90	4,17	2,84	0,97	0,73	1,94	1,50
Noviembre	1,43	0,53	0,52	0,33	0,37	2,05	1,68	3,03	2,85	1,57	1,90	0,96	1,04	3,04	3,67	2,47	5,70	2,45	3,34	7,84	1,71	4,05	1,48	2,23	2,95	0,78	3,46	4,65	1,10	1,08	3,11
Diciembre	1,16	0,79	0,77	0,39	0,49	2,15	2,58	7,35	1,61	2,39	0,90	2,41	5,13	4,20	2,52	3,36	3,29	2,15	1,23	1,53	1,60	2,13	3,25	4,24	4,17	2,64	3,01	1,33	5,57	1,37	1,70
Datos de precipitación máxima (mm)																															
Mes/Año	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	3,50	5,00	5,50	4,50	3,00	4,00	12,00	15,50	7,00	13,00	31,00	47,00	22,00	40,30	18,60	34,30	16,20	23,00	30,00	51,00	32,90	27,50	16,50	28,60	32,00	30,00	10,50	51,00	37,60	15,50	38,40
Febrero	5,00	4,00	3,00	4,00	4,00	14,00	15,00	12,00	25,50	30,00	29,00	62,70	27,80	38,60	31,80	42,10	33,40	34,00	30,80	11,20	47,70	38,70	58,30	28,00	25,00	18,00	24,00	31,50	8,10	23,80	18,80
Marzo	4,50	4,50	3,50	5,50	4,50	11,50	22,50	14,00	39,00	8,00	80,00	12,50	24,00	23,40	39,40	18,60	21,50	32,10	49,80	25,40	32,20	51,60	67,10	26,20	16,10	43,00	23,50	24,41	28,90	40,30	31,20
Abril	2,50	4,50	4,00	5,00	5,00	9,50	24,00	15,00	33,00	31,50	62,00	32,00	55,00	29,90	40,60	17,30	41,20	5,90	25,20	14,10	30,00	55,20	36,60	35,50	30,40	26,00	26,80	28,90	53,10	26,00	26,70
Mayo	1,50	3,50	6,00	6,50	3,50	9,50	30,50	16,00	15,50	28,00	32,50	11,50	28,50	26,10	24,70	16,80	43,00	11,80	17,00	23,20	17,00	13,20	29,90	37,40	7,00	29,80	19,50	12,00	56,80	50,00	39,00
Junio	1,50	3,50	4,50	2,50	4,50	5,00	12,00	17,00	21,00	5,50	25,50	29,00	28,30	6,40	18,00	15,20	30,00	20,20	12,00	8,80	11,00	34,40	5,50	25,60	5,00	6,00	7,80	7,50	9,50	20,60	8,40
Julio	2,00	2,50	3,50	2,50	3,00	3,50	8,00	16,00	7,00	0,00	9,00	16,30	9,20	30,20	10,70	5,20	20,00	10,40	5,20	13,20	16,30	18,80	8,50	15,90	12,00	5,50	7,50	9,50	14,00	8,70	7,50
Agosto	6,00	3,50	4,50	2,00	2,50	5,50	11,00	10,00	10,00	8,00	3,00	7,30	14,00	5,50	3,30	6,20	5,70	3,40	6,80	10,10	6,40	11,00	3,60	11,40	8,00	32,50	30,20	5,50	9,00	19,10	10,00
Setiembre	5,00	4,00	4,00	4,00	7,50	4,50	31,00	7,00	9,00	7,00	15,00	12,40	51,10	21,60	22,20	6,90	12,80	6,10	12,90	5,20	19,40	11,70	17,00	14,70	6,10	7,50	16,50	4,50	14,50	19,00	2,40
Octubre	2,50	3,50	6,00	2,50	4,50	17,50	11,00	15,50	23,50	33,00	29,50	32,30	11,50	26,20	35,60	18,00	17,00	29,00	40,80	40,50	25,20	22,50	33,40	31,30	14,70	25,70	31,80	8,00	4,50	26,80	19,30
Noviembre	7,50	3,50	4,50	2,50	3,50	9,50	10,00	23,50	61,50	10,00	30,00	26,00	15,80	23,70	24,90	29,70	66,70	36,00	16,70	40,50	11,30	32,90	25,80	26,50	25,80	8,50	31,00	39,90	15,30	12,20	16,50
Diciembre	5,50	4,50	4,50	5,00	3,50	9,00	20,00	46,00	12,50	22,00	13,00	19,00	54,60	34,10	19,50	62,00	35,50	25,00	14,10	28,20	29,80	21,00	29,90	24,80	42,80	15,70	35,00	5,50	28,50	14,20	11,50
Datos de precipitación total (mm)																															
Mes/Año	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	18,54	28,52	40,02	22,03	9,52	27,51	81,52	80,50	28,70	72,00	79,00	123,51	67,40	145,10	54,60	72,90	57,60	44,00	104,50	115,90	116,10	122,40	32,00	64,40	165,90	122,50	40,30	198,60	86,20	64,50	148,10
Febrero	34,01	19,01	17,51	32,03	25,02	106,51	157,51	26,00	130,00	168,50	106,00	335,30	123,40	103,40	129,50	119,30	79,80	200,00	153,60	35,70	297,20	118,30	172,10	58,40	127,00	83,50	102,60	133,70	68,10	103,90	64,50
Marzo	24,52	23,54	19,04	25,52	32,03	108,54	180,03	81,01	169,01	17,51	295,51	75,31	109,00	133,00	107,10	94,20	57,70	152,90	251,50	129,20	143,20	257,50	166,20	135,80	149,50	166,30	112,60	338,52	111,30	237,50	141,40
Abril	12,52	26,53	23,53	29,01	28,03	66,52	133,01	47,51	89,00	109,00	299,00	115,20	150,80	102,20	164,70	72,80	161,30	24,20	85,80	95,30	118,50	132,30	180,40	122,90	217,70	127,50	128,60	118,10	176,60	112,80	101,50
Mayo	2,53	17,03	23,52	30,54	20,54	33,03	100,00	42,52	78,00	60,00	98,00	51,30	91,30	102,00	59,60	95,60	108,50	39,10	35,30	92,90	67,60	67,40	52,50	78,90	46,20	185,40	138,20	65,40	98,30	148,90	211,40
Junio	4,04	16,51	25,54	11,51	19,03	23,55	40,50	43,50	51,50	27,52	50,53	93,90	86,90	16,10	53,50	57,70	60,60	64,60	59,40	16,70	38,50	70,20	25,10	47,50	17,80	32,50	45,30	41,70	47,60	85,00	56,30
Julio	8,01	18,02	19,07	11,52	13,53	19,01	31,00	34,00	13,01	0,00	9,03	95,20	15,90	78,60	79,60	16,50	99,70	21,70	22,60	43,30	57,40	51,50	20,80	41,20	40,20	17,60	26,30	38,50	37,90	22,60	31,70
Agosto	15,52	20,52	24,53	5,52	12,53	42,53	17,00	10,00	36,00	29,01	7,52	17,50	58,90	19,40	4,40	14,50	21,30	8,40	19,00	30,80	26,10	35,90	5,40	19,70	28,40	69,90	84,30	16,40	27,80	49,90	37,80
Setiembre	20,02	19,55	24,54	22,54	19,52	27,03	59,00	24,02	25,00	22,00	37,50	68,50	136,10	105,60	28,00	15,60	41,10	15,50	40,70	20,50	84,90	50,60	40,90	76,10	14,50	18,90	40,20	16,40	50,10	58,50	14,70
Octubre	5,01	10,54	38,02	7,03	22,03	119,50	42,00	52,01	121,00	58,50	103,50	76,60	40,60	72,30	128,50	78,90	79,90	158,40	108,60	128,10	129,20	55,50	72,40	133,20	89,80	129,30	87,90	30,00	22,60	60,10	46,40
Noviembre	43,00	16,02	15,54	10,02	11,02	61,51	50,50	91,00	85,50	47,00	57,00	28,80	31,10	91,10	110,10	74,10	171,00	73,40	100,30	235,10	51,40	121,40	44,30	66,80	88,40	23,40	103,70	139,60	33,00	32,30	93,30
Diciembre	36,01	24,51	24,01	12,01	15,04	66,51	80,03	228,00	50,00	74,00	28,00	74,70	158,90	130,30	78,00	104,10	102,00	66,60	38,00	47,50	49,60	66,00	100,90	131,30	129,30	81,70	93,40	41,10	172,70	42,40	52,70

### 3.7.2. Determinación del factor $R$ mediante el Índice modificado de Foournier

De las 26 Se procede a determinar el factor de erosividad  $R$  mediante la *ecuación(23)* desarrollada por la FAO, denominada índice modificado de Foournier:

$$R = \frac{\sum PPm^2}{PPa}$$

donde:

$R$  = factor de erosividad de la lluvia (MJ·mm/ha·h)

$PPm$  = precipitación media mensual

$PPa$  = precipitación media anual

La precipitación media mensual es un valor representativo para su respectivo mes y la precipitación media anual es la precipitación representativa para todo un año. Al ser valores representativos de un año en específico, se podría considerar que la erosividad obtenida mediante el índice modificado de foournier es un valor representativo para dicho año.

Si los datos para calcular la erosividad son representativos (precipitación media) se obtendrá un  $R$  representativo, entonces si se considera los datos de precipitaciones máximas, la erosividad obtenida debería ser máxima. Esto se debe a que la erosividad es una propiedad específica de la precipitación relacionada a su capacidad de erosionar un campo; es decir, la erosividad está vinculada directamente a la precipitación, si es representativa (media) o máxima, su potencial de erosión será representativo o máximo. De este modo se infiere:

$$R_{max} = \frac{\sum PPmax^2}{Pmax} \quad (51)$$

donde:

$R_{max}$  = factor máximo de erosividad de la lluvia (MJ·mm/ha·h)

$PPmax$  = precipitación máxima mensual

$Pmax$  = precipitación máxima anual

### 3.7.2.1. Determinación del factor R para la estación Chancay Baños

**Tabla 97**

*Cálculo del Factor R (erosividad) para la estación Chancay Baños.*

Estación : CHANCAY BAÑOS, Tipo Convencional - Meteorológica, altitud: 1 677 m s.n.m.										
Año	1988					1989				
Datos	Precipitación (mm)			Factor R (MJ·mm/ha·h)		Precipitación (mm)			Factor R (MJ·mm/ha·h)	
	Media	Max	Total	Pp media	Pp max	Media	Max	Total	Pp media	Pp max
Enero	2,03	17,70	62,80	2,289	8,776	2,97	13,10	92,00	5,069	2,959
Febrero	2,87	24,20	83,20	4,576	16,404	2,92	41,70	81,80	4,900	29,981
Marzo	0,55	5,70	17,00	0,168	0,910	2,40	12,50	74,40	3,310	2,694
Abril	3,06	17,50	91,90	5,202	8,578	3,47	58,00	104,00	6,920	58,000
Mayo	3,54	35,70	109,80	6,962	35,700	0,04	1,30	1,30	0,001	0,029
Junio	0,81	7,80	24,20	0,365	1,704	1,24	27,50	37,30	0,884	13,039
Julio	0,31	8,70	9,70	0,053	2,120	0,04	1,20	1,20	0,001	0,025
Agosto	0,90	12,20	27,80	0,450	4,169	0,41	12,80	12,80	0,097	2,825
Setiembre	1,41	19,30	42,20	1,105	10,434	1,99	17,00	59,60	2,276	4,983
Octubre	1,64	20,40	50,80	1,494	11,657	4,13	35,00	127,93	9,803	21,121
Noviembre	3,64	31,70	109,30	7,361	28,148	1,22	14,50	36,50	0,855	3,625
Diciembre	0,97	7,50	30,00	0,523	1,576	0,15	4,70	4,72	0,013	0,381
<b>Anual</b>	<b>1,80</b>	<b>35,70</b>	<b>658,70</b>	<b>30,548</b>	<b>130,176</b>	<b>1,74</b>	<b>58,0</b>	<b>633,55</b>	<b>34,129</b>	<b>139,662</b>
Año	1990					1991				
Datos	Precipitación (mm)			Factor R (MJ·mm/ha·h)		Precipitación (mm)			Factor R (MJ·mm/ha·h)	
	Media	Max	Total	Pp media	Pp max	Media	Max	Total	Pp media	Pp max
Enero	0,60	8,00	18,63	0,255	2,540	0,07	2,30	2,31	0,004	0,125
Febrero	2,95	25,20	82,72	6,172	25,200	0,75	11,00	21,03	0,417	2,867
Marzo	1,43	15,90	44,48	1,450	10,032	2,77	17,00	85,92	5,684	6,848
Abril	2,33	18,30	69,94	3,850	13,289	5,67	42,20	170,02	23,814	42,200
Mayo	1,32	15,30	40,88	1,236	9,289	0,89	6,00	27,52	0,587	0,853
Junio	1,38	12,00	41,31	1,351	5,714	0,12	3,60	3,64	0,011	0,307
Julio	0,03	1,00	1,00	0,001	0,040	0,08	2,60	2,60	0,005	0,160
Agosto	0,39	12,00	12,01	0,108	5,714	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000
Setiembre	0,24	6,40	7,21	0,041	1,625	0,43	4,30	12,80	0,137	0,438
Octubre	3,23	14,70	100,21	7,399	8,575	2,55	18,40	79,02	4,817	8,023
Noviembre	2,71	24,50	81,42	5,209	23,819	1,22	13,00	36,70	1,103	4,005
Diciembre	0,44	12,20	13,70	0,137	5,906	1,71	24,50	52,92	2,166	14,224
<b>Anual</b>	<b>1,41</b>	<b>25,20</b>	<b>513,51</b>	<b>27,209</b>	<b>111,743</b>	<b>1,35</b>	<b>42,20</b>	<b>494,48</b>	<b>38,745</b>	<b>80,050</b>

Teniendo en consideración los cálculos para determinar el factor R descritos en el ítem 3.7.2. y mostrados en la *Tabla 97*, se obtuvieron los siguientes valores del factor R para los demás años correspondiente a la estación Chancay Baños:

**Tabla 98**

*Factor de erosividad para las precipitaciones de la estación Chancay Baños.*

Estación : CHANCAY BAÑOS, Tipo Convencional - Meteorológica							
Año	Factor R	Año	Factor R	Año	Factor R	Año	Factor R
<b>Factor R de la precipitación media (MJ·mm/ha·h)</b>							
<b>1988</b>	30,548	<b>1996</b>	57,752	<b>2004</b>	28,570	<b>2012</b>	76,309
<b>1989</b>	34,129	<b>1997</b>	44,322	<b>2005</b>	52,774	<b>2013</b>	50,881
<b>1990</b>	27,209	<b>1998</b>	78,652	<b>2006</b>	44,566	<b>2014</b>	48,934
<b>1991</b>	38,745	<b>1999</b>	56,633	<b>2007</b>	58,920	<b>2015</b>	62,035
<b>1992</b>	27,755	<b>2000</b>	48,591	<b>2008</b>	63,920	<b>2016</b>	SD
<b>1993</b>	58,607	<b>2001</b>	57,374	<b>2009</b>	47,215	<b>2017</b>	66,186
<b>1994</b>	54,283	<b>2002</b>	50,893	<b>2010</b>	51,819	<b>2018</b>	49,753
<b>1995</b>	39,030	<b>2003</b>	36,216	<b>2011</b>	57,901		
<b>Factor R de la precipitación máxima (MJ·mm/ha·h)</b>							
<b>1988</b>	130,176	<b>1996</b>	189,944	<b>2004</b>	142,505	<b>2012</b>	157,837
<b>1989</b>	139,662	<b>1997</b>	114,380	<b>2005</b>	82,332	<b>2013</b>	167,048
<b>1990</b>	111,743	<b>1998</b>	222,320	<b>2006</b>	196,975	<b>2014</b>	167,042
<b>1991</b>	80,050	<b>1999</b>	209,372	<b>2007</b>	141,411	<b>2015</b>	157,971
<b>1992</b>	127,543	<b>2000</b>	151,684	<b>2008</b>	215,245	<b>2016</b>	SD
<b>1993</b>	191,110	<b>2001</b>	145,166	<b>2009</b>	231,773	<b>2017</b>	206,033
<b>1994</b>	205,155	<b>2002</b>	142,075	<b>2010</b>	156,875	<b>2018</b>	168,101
<b>1995</b>	176,003	<b>2003</b>	231,004	<b>2011</b>	183,476		

Nota. SD: Sin datos disponibles para este año.

**3.7.2.2. Determinación del factor R para las demás estaciones.** Luego de realizar los procedimientos descritos en el ítem 3.7.2.1. para determinar el factor R mostrados en la *Tabla 97*, se obtuvieron los siguientes valores para las demás estaciones:

Tabla 99

*Factor de erosividad para las precipitaciones de la estación Chotano Lajas.*

Estación : CHOTANO LAJAS, Tipo Convencional - Meteorológica							
Año	Factor R	Año	Factor R	Año	Factor R	Año	Factor R
<b>Factor R de la precipitación media (MJ·mm/ha·h)</b>							
1988	46,085	1996	47,316	2004	41,801	2012	65,279
1989	59,675	1997	40,091	2005	53,125	2013	53,443
1990	44,925	1998	61,394	2006	61,028	2014	45,392
1991	42,747	1999	59,196	2007	45,467	2015	57,849
1992	37,731	2000	44,922	2008	63,270	2016	40,830
1993	50,581	2001	56,937	2009	65,168	2017	54,650
1994	44,303	2002	42,384	2010	45,855	2018	47,366
1995	40,840	2003	39,411	2011	39,277		
<b>Factor R de la precipitación máxima (MJ·mm/ha·h)</b>							
1988	175,080	1996	123,602	2004	149,574	2012	207,845
1989	213,111	1997	104,595	2005	127,013	2013	125,575
1990	95,760	1998	208,549	2006	206,441	2014	133,994
1991	117,151	1999	184,984	2007	153,801	2015	185,602
1992	140,983	2000	134,523	2008	177,007	2016	177,137
1993	145,915	2001	138,151	2009	189,938	2017	188,645
1994	136,939	2002	163,387	2010	120,866	2018	207,651
1995	117,559	2003	196,297	2011	105,403		

Tabla 100

*Factor de erosividad para las precipitaciones de la estación Chugur.*

Estación : CHUGUR, Tipo Convencional - Meteorológica							
Año	Factor R	Año	Factor R	Año	Factor R	Año	Factor R
<b>Factor R de la precipitación media (MJ·mm/ha·h)</b>							
1988	106,647	1996	97,404	2004	55,713	2012	118,496
1989	221,811	1997	69,227	2005	104,980	2013	85,025
1990	48,442	1998	84,446	2006	109,931	2014	92,592
1991	24,733	1999	102,067	2007	78,956	2015	126,672
1992	26,162	2000	91,653	2008	117,852	2016	80,442
1993	112,016	2001	93,439	2009	99,301	2017	120,801
1994	98,465	2002	89,182	2010	85,850	2018	64,017
1995	87,232	2003	64,109	2011	86,330		
<b>Factor R de la precipitación máxima (MJ·mm/ha·h)</b>							
1988	106,671	1996	150,558	2004	200,079	2012	207,156
1989	168,276	1997	156,991	2005	208,975	2013	190,571
1990	79,872	1998	202,517	2006	296,002	2014	175,792
1991	47,507	1999	329,555	2007	226,214	2015	130,170
1992	59,296	2000	153,371	2008	238,412	2016	263,130
1993	261,467	2001	241,045	2009	286,207	2017	294,124
1994	126,642	2002	296,997	2010	219,571	2018	246,647
1995	235,825	2003	245,378	2011	237,428		

Tabla 101

*Factor de erosividad para las precipitaciones de la estación Cochabamba.*

Estación : COCHABAMBA, Tipo Convencional - Meteorológica							
Año	Factor R	Año	Factor R	Año	Factor R	Año	Factor R
<b>Factor R de la precipitación media (MJ·mm/ha·h)</b>							
1988	29,468	1996	51,921	2004	34,102	2012	77,595
1989	41,841	1997	29,310	2005	45,867	2013	59,715
1990	33,649	1998	53,216	2006	51,256	2014	29,480
1991	23,353	1999	49,484	2007	41,291	2015	53,677
1992	26,975	2000	66,991	2008	69,706	2016	41,131
1993	40,004	2001	57,889	2009	41,176	2017	57,855
1994	50,564	2002	36,155	2010	52,575	2018	42,314
1995	25,741	2003	35,214	2011	44,630		
<b>Factor R de la precipitación máxima (MJ·mm/ha·h)</b>							
1988	135,692	1996	166,750	2004	131,646	2012	245,596
1989	207,983	1997	101,282	2005	139,801	2013	154,116
1990	96,106	1998	148,230	2006	165,703	2014	182,449
1991	111,824	1999	220,911	2007	150,595	2015	192,984
1992	126,005	2000	179,298	2008	277,531	2016	168,577
1993	107,670	2001	232,632	2009	137,606	2017	177,990
1994	158,868	2002	174,591	2010	209,478	2018	222,100
1995	98,181	2003	184,225	2011	140,142		

Tabla 102

*Factor de erosividad para las precipitaciones de la estación Cutervo.*

Estación : CUTERVO, Tipo Convencional - Meteorológica							
Año	Factor R	Año	Factor R	Año	Factor R	Año	Factor R
<b>Factor R de la precipitación media (MJ·mm/ha·h)</b>							
1988	48,699	1996	55,123	2004	52,983	2012	66,737
1989	47,835	1997	42,643	2005	61,293	2013	63,297
1990	58,418	1998	63,035	2006	64,941	2014	45,500
1991	30,090	1999	76,813	2007	57,358	2015	73,016
1992	31,352	2000	62,636	2008	61,510	2016	55,736
1993	66,144	2001	53,289	2009	42,586	2017	64,453
1994	66,161	2002	42,033	2010	47,424	2018	57,311
1995	48,667	2003	49,250	2011	57,838		
<b>Factor R de la precipitación máxima (MJ·mm/ha·h)</b>							
1988	113,625	1996	154,558	2004	156,771	2012	166,760
1989	209,729	1997	116,287	2005	138,452	2013	177,513
1990	154,433	1998	253,176	2006	155,562	2014	153,797
1991	134,209	1999	216,851	2007	179,945	2015	157,857
1992	151,927	2000	156,914	2008	181,352	2016	170,885
1993	219,826	2001	166,737	2009	147,034	2017	219,374
1994	147,782	2002	174,797	2010	187,419	2018	213,046
1995	132,431	2003	149,569	2011	190,172		



Tabla 103

*Factor de erosividad para las precipitaciones de la estación Hacienda Pucara.*

<b>Estación : HACIENDA PUCARA, Tipo Convencional - Meteorológica</b>							
<b>Año</b>	<b>Factor R</b>	<b>Año</b>	<b>Factor R</b>	<b>Año</b>	<b>Factor R</b>	<b>Año</b>	<b>Factor R</b>
<b>Factor R de la precipitación media (MJ·mm/ha·h)</b>							
<b>1988</b>	65,146	<b>1996</b>	24,251	<b>2004</b>	35,527	<b>2012</b>	38,157
<b>1989</b>	75,176	<b>1997</b>	17,084	<b>2005</b>	41,517	<b>2013</b>	32,116
<b>1990</b>	97,086	<b>1998</b>	41,081	<b>2006</b>	50,110	<b>2014</b>	38,166
<b>1991</b>	46,993	<b>1999</b>	35,737	<b>2007</b>	54,223	<b>2015</b>	38,230
<b>1992</b>	56,590	<b>2000</b>	36,396	<b>2008</b>	42,342	<b>2016</b>	28,533
<b>1993</b>	40,024	<b>2001</b>	34,598	<b>2009</b>	39,635	<b>2017</b>	45,080
<b>1994</b>	35,375	<b>2002</b>	25,136	<b>2010</b>	36,310	<b>2018</b>	36,497
<b>1995</b>	28,627	<b>2003</b>	22,243	<b>2011</b>	36,685		
<b>Factor R de la precipitación máxima (MJ·mm/ha·h)</b>							
<b>1988</b>	89,475	<b>1996</b>	87,805	<b>2004</b>	153,950	<b>2012</b>	136,359
<b>1989</b>	76,640	<b>1997</b>	53,433	<b>2005</b>	113,376	<b>2013</b>	106,822
<b>1990</b>	61,425	<b>1998</b>	191,661	<b>2006</b>	149,755	<b>2014</b>	139,244
<b>1991</b>	126,571	<b>1999</b>	158,645	<b>2007</b>	193,094	<b>2015</b>	104,175
<b>1992</b>	83,717	<b>2000</b>	110,710	<b>2008</b>	164,120	<b>2016</b>	122,580
<b>1993</b>	169,185	<b>2001</b>	266,683	<b>2009</b>	128,794	<b>2017</b>	110,903
<b>1994</b>	110,387	<b>2002</b>	103,780	<b>2010</b>	143,712	<b>2018</b>	107,658
<b>1995</b>	77,541	<b>2003</b>	116,974	<b>2011</b>	154,599		

Tabla 104

*Factor de erosividad para las precipitaciones de la estación Llama.*

<b>Estación : LLAMA, Tipo Convencional - Meteorológica</b>							
<b>Año</b>	<b>Factor R</b>	<b>Año</b>	<b>Factor R</b>	<b>Año</b>	<b>Factor R</b>	<b>Año</b>	<b>Factor R</b>
<b>Factor R de la precipitación media (MJ·mm/ha·h)</b>							
<b>1988</b>	34,773	<b>1996</b>	42,428	<b>2004</b>	23,351	<b>2012</b>	95,825
<b>1989</b>	53,359	<b>1997</b>	46,610	<b>2005</b>	93,309	<b>2013</b>	66,290
<b>1990</b>	25,132	<b>1998</b>	121,495	<b>2006</b>	87,146	<b>2014</b>	34,764
<b>1991</b>	50,907	<b>1999</b>	94,858	<b>2007</b>	44,680	<b>2015</b>	81,064
<b>1992</b>	56,685	<b>2000</b>	81,000	<b>2008</b>	123,146	<b>2016</b>	59,175
<b>1993</b>	93,224	<b>2001</b>	99,201	<b>2009</b>	94,536	<b>2017</b>	213,199
<b>1994</b>	49,144	<b>2002</b>	80,460	<b>2010</b>	70,491	<b>2018</b>	43,158
<b>1995</b>	42,076	<b>2003</b>	40,034	<b>2011</b>	56,789		
<b>Factor R de la precipitación máxima (MJ·mm/ha·h)</b>							
<b>1988</b>	160,353	<b>1996</b>	100,563	<b>2004</b>	105,184	<b>2012</b>	155,729
<b>1989</b>	118,619	<b>1997</b>	158,520	<b>2005</b>	97,176	<b>2013</b>	119,643
<b>1990</b>	84,423	<b>1998</b>	232,777	<b>2006</b>	94,071	<b>2014</b>	131,986
<b>1991</b>	57,884	<b>1999</b>	162,694	<b>2007</b>	96,257	<b>2015</b>	87,559
<b>1992</b>	171,520	<b>2000</b>	141,533	<b>2008</b>	206,003	<b>2016</b>	162,998
<b>1993</b>	139,946	<b>2001</b>	128,548	<b>2009</b>	193,055	<b>2017</b>	194,960
<b>1994</b>	123,620	<b>2002</b>	163,982	<b>2010</b>	239,033	<b>2018</b>	136,407
<b>1995</b>	95,590	<b>2003</b>	110,820	<b>2011</b>	125,557		

**Tabla 105***Factor de erosividad para las precipitaciones de la estación Quebrada Shugar.*

<b>Estación : QUEBRADA SHUGAR, Tipo Convencional - Meteorológica</b>							
<b>Año</b>	<b>Factor R</b>	<b>Año</b>	<b>Factor R</b>	<b>Año</b>	<b>Factor R</b>	<b>Año</b>	<b>Factor R</b>
<b>Factor R de la precipitación media (MJ·mm/ha·h)</b>							
<b>1988</b>	42,188	<b>1996</b>	35,662	<b>2004</b>	40,159	<b>2012</b>	59,689
<b>1989</b>	37,452	<b>1997</b>	33,318	<b>2005</b>	53,266	<b>2013</b>	63,428
<b>1990</b>	25,709	<b>1998</b>	47,214	<b>2006</b>	63,200	<b>2014</b>	55,359
<b>1991</b>	30,432	<b>1999</b>	64,725	<b>2007</b>	52,989	<b>2015</b>	54,715
<b>1992</b>	29,146	<b>2000</b>	50,982	<b>2008</b>	62,392	<b>2016</b>	52,578
<b>1993</b>	31,714	<b>2001</b>	70,935	<b>2009</b>	64,129	<b>2017</b>	53,264
<b>1994</b>	29,035	<b>2002</b>	57,076	<b>2010</b>	36,183	<b>2018</b>	47,384
<b>1995</b>	32,627	<b>2003</b>	44,384	<b>2011</b>	52,209		
<b>Factor R de la precipitación máxima (MJ·mm/ha·h)</b>							
<b>1988</b>	91,486	<b>1996</b>	92,385	<b>2004</b>	148,947	<b>2012</b>	130,835
<b>1989</b>	107,843	<b>1997</b>	100,891	<b>2005</b>	137,370	<b>2013</b>	169,724
<b>1990</b>	84,183	<b>1998</b>	156,332	<b>2006</b>	164,020	<b>2014</b>	121,125
<b>1991</b>	99,632	<b>1999</b>	159,764	<b>2007</b>	135,451	<b>2015</b>	146,941
<b>1992</b>	117,895	<b>2000</b>	138,471	<b>2008</b>	120,573	<b>2016</b>	128,586
<b>1993</b>	129,092	<b>2001</b>	114,302	<b>2009</b>	113,347	<b>2017</b>	135,704
<b>1994</b>	112,449	<b>2002</b>	148,475	<b>2010</b>	143,150	<b>2018</b>	125,017
<b>1995</b>	81,970	<b>2003</b>	144,877	<b>2011</b>	135,492		

**Tabla 106***Factor de erosividad para las precipitaciones de la estación Querocotillo.*

<b>Estación : QUEROCOTILLO, Tipo Convencional - Meteorológica</b>							
<b>Año</b>	<b>Factor R</b>	<b>Año</b>	<b>Factor R</b>	<b>Año</b>	<b>Factor R</b>	<b>Año</b>	<b>Factor R</b>
<b>Factor R de la precipitación media (MJ·mm/ha·h)</b>							
<b>1988</b>	11,041	<b>1996</b>	40,377	<b>2004</b>	43,116	<b>2012</b>	53,633
<b>1989</b>	8,304	<b>1997</b>	38,770	<b>2005</b>	51,150	<b>2013</b>	47,914
<b>1990</b>	10,368	<b>1998</b>	75,133	<b>2006</b>	53,169	<b>2014</b>	39,219
<b>1991</b>	9,314	<b>1999</b>	69,497	<b>2007</b>	50,261	<b>2015</b>	71,685
<b>1992</b>	8,469	<b>2000</b>	44,951	<b>2008</b>	61,326	<b>2016</b>	43,635
<b>1993</b>	31,713	<b>2001</b>	42,596	<b>2009</b>	51,836	<b>2017</b>	48,634
<b>1994</b>	45,388	<b>2002</b>	43,210	<b>2010</b>	51,140	<b>2018</b>	46,710
<b>1995</b>	42,736	<b>2003</b>	34,222	<b>2011</b>	38,860		
<b>Factor R de la precipitación máxima (MJ·mm/ha·h)</b>							
<b>1988</b>	30,131	<b>1996</b>	141,648	<b>2004</b>	193,120	<b>2012</b>	137,035
<b>1989</b>	37,050	<b>1997</b>	143,197	<b>2005</b>	172,678	<b>2013</b>	158,022
<b>1990</b>	41,460	<b>1998</b>	200,087	<b>2006</b>	156,201	<b>2014</b>	195,303
<b>1991</b>	31,348	<b>1999</b>	172,994	<b>2007</b>	167,943	<b>2015</b>	138,267
<b>1992</b>	29,198	<b>2000</b>	231,382	<b>2008</b>	168,519	<b>2016</b>	176,136
<b>1993</b>	62,286	<b>2001</b>	225,746	<b>2009</b>	216,706	<b>2017</b>	158,028
<b>1994</b>	138,468	<b>2002</b>	206,350	<b>2010</b>	200,996	<b>2018</b>	154,997
<b>1995</b>	101,385	<b>2003</b>	149,525	<b>2011</b>	227,238		

### 3.7.3. Análisis de correlación regional para la estación Chancay Baños

En los datos históricos de precipitaciones se observa que la estación Chancay Baños no posee información para el año 2016 (ver *Tabla 55* del ítem 3.2.12.).

Con la finalidad de calcular la ecuación de regresión para estimar la información faltante de las precipitaciones y del factor R del año 2016, se procede a distribuir los datos anuales de cada estación para calcular el coeficiente de correlación mediante una tabla de doble entrada; de esta manera se determina la estación que presente un mayor valor de correlación con la estación Chancay Baños.

A continuación, se procede, a modo de ejemplo, calcular la precipitación media para el 2016:

**Tabla 107**

*Datos de precipitación media para las estaciones de la subcuenca de estudio.*

Año	Datos de precipitación media (mm)								
	Estaciones meteorológicas								
	Chancay Baños	Chotano Lajas	Chugur	Cochabamba	Cutervo	Hacienda Pucara	Llama	Quebrada Shugar	Quero-cotillo
1988	1,80	2,73	5,59	1,85	2,48	1,77	1,69	2,06	0,61
1989	1,74	3,32	8,09	2,30	2,77	2,30	2,02	1,97	0,66
1990	1,41	2,10	1,57	1,52	3,07	1,20	0,87	1,41	0,81
1991	1,35	1,74	0,88	1,10	1,86	2,08	0,91	1,64	0,60
1992	1,48	2,08	1,13	1,49	2,30	2,01	2,24	2,04	0,62
1993	2,87	2,98	6,51	1,85	3,91	1,92	2,97	1,98	1,92
1994	2,84	2,36	4,56	2,33	3,20	1,60	1,89	1,73	2,66
1995	2,32	2,47	4,88	1,49	2,22	1,12	1,54	1,86	2,08
1996	2,66	2,42	4,53	2,40	2,82	1,17	1,64	1,70	2,40
1997	1,76	1,78	3,73	1,11	2,02	0,70	1,82	1,82	1,87
1998	3,22	3,32	4,35	2,27	3,25	2,02	4,06	2,42	3,21
1999	3,16	3,26	5,90	2,88	4,02	1,98	3,06	3,04	3,17
2000	2,52	2,59	4,63	3,41	3,09	1,80	3,16	2,94	2,93
2001	2,65	2,93	5,14	2,62	2,98	1,92	3,00	3,21	3,00
2002	2,09	2,28	4,82	1,92	2,56	1,26	2,29	3,21	2,73
2003	2,25	2,47	3,96	1,93	2,44	1,23	1,67	2,88	2,24
2004	1,77	2,39	3,56	2,05	2,70	1,67	1,41	2,52	2,85

Año	Datos de precipitación media (mm)								
	Estaciones meteorológicas								
	Chancay Baños	Chotano Lajas	Chugur	Cochabamba	Cutervo	Hacienda Pucara	Llama	Quebrada Shugar	Querocotillo
2005	1,75	2,33	4,45	1,95	2,84	1,49	2,13	2,58	2,37
2006	2,45	2,94	5,62	2,50	3,29	2,08	2,27	3,15	2,79
2007	2,48	2,44	4,34	2,27	3,15	2,30	1,67	2,89	2,72
2008	3,47	3,26	6,02	3,99	3,53	2,15	4,29	3,33	3,23
2009	2,64	3,24	5,64	2,11	2,59	1,79	3,24	3,71	3,14
2010	2,15	2,33	4,20	2,52	2,71	1,41	2,46	2,30	2,50
2011	2,72	2,14	4,58	2,20	3,38	1,88	2,19	2,82	2,67
2012	3,61	3,37	5,17	3,64	3,20	1,92	3,55	3,04	3,05
2013	2,47	2,73	4,62	2,51	3,48	1,55	2,10	3,22	2,89
2014	2,75	2,53	5,15	1,80	2,64	1,72	1,67	2,82	2,75
2015	2,82	2,69	4,31	2,44	3,32	1,20	2,04	2,76	3,23
2016	SD	2,37	4,57	1,89	3,00	1,36	2,16	2,20	2,55
2017	3,13	2,99	6,27	2,43	3,78	1,72	4,84	3,13	2,79
2018	2,35	2,62	3,21	2,21	3,40	1,47	1,98	2,98	2,74

Nota. SD: Sin datos disponibles para este año.

**Tabla 108**

*Coefficiente de correlación entre los datos de precipitación media de 31 años de las estaciones de la subcuenca de estudio.*

Coefficiente de correlación entre estaciones para los datos de 31 años de precipitación media									
Estaciones	Chancay Baños	Chotano Lajas	Chugur	Cochabamba	Cutervo	Hacienda Pucara	Llama	Quebrada Shugar	Querocotillo
Chancay Baños	1,00								
Chotano Lajas	0,69	1,00							
Chugur	0,54	0,74	1,00						
Cochabamba	0,72	0,66	0,48	1,00					
Cutervo	0,69	0,58	0,45	0,61	1,00				
Hacienda Pucara	0,25	0,50	0,27	0,39	0,32	1,00			
Llama	0,73	0,70	0,50	0,65	0,56	0,36	1,00		
Quebrada Shugar	0,53	0,52	0,38	0,57	0,40	0,28	0,56	1,00	
Querocotillo	0,76	0,42	0,34	0,61	0,53	-0,01	0,52	0,72	1,00

Con los datos de la precipitación media, se observa el mayor coeficiente de correlación de  $r = 0,76$  entre las estaciones de Chancay Baños y Querocotillo; debido a que es recomendable para el análisis de regresión un  $r > 0,80$ ; se descartan los datos que presentan

una mayor dispersión, correspondiente a los años de 1993, 2004 y 2017, para finalmente obtener un coeficiente de  $r = 0,83$ .

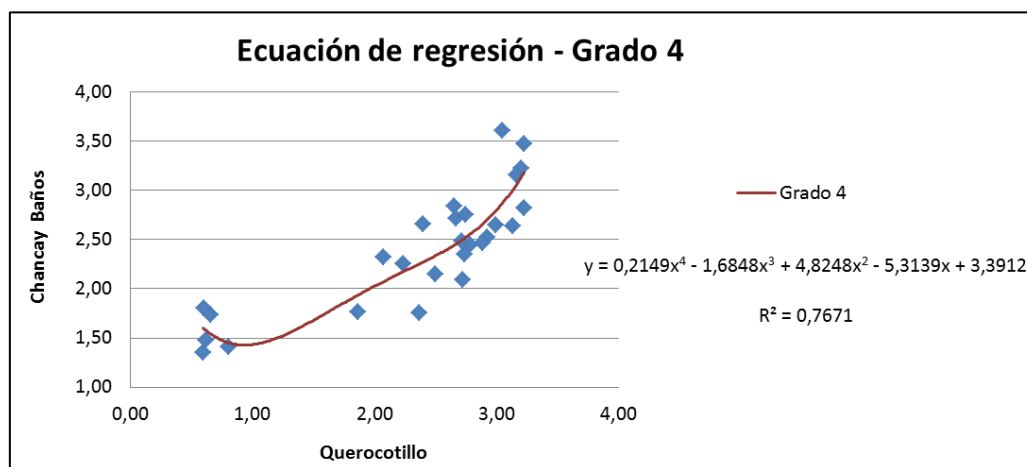
Se procede a determinar las ecuaciones de regresión entre las estaciones de Chancay Baños y Querocotillo para calcular la información faltante, de la cual, la línea de tendencia de grado 4 se aproxima más entre la serie de datos en comparación con las demás ecuaciones de regresión.

La ecuación de grado 4 es la siguiente:

$$y = 0,2149x^4 - 1,6848x^3 + 4,8248x^2 - 5,3139x + 3,3912 \quad (52)$$

**Figura 42**

*Ecuación de regresión de grado 4 para los datos de la precipitación media - Chancay Baños vs Querocotillo.*



**Tabla 109**

*Valores estimados de precipitación media para la ecuación de Grado 4 - Chancay Baños.*

Datos de precipitación media (mm)			
Año	Estación		Ecuación
	Querocotillo	Chancay Baños	Grado 4
1988	0,61	1,80	1,59
1989	0,66	1,74	1,54

<b>Datos de precipitación media (mm)</b>			
<b>Año</b>	<b>Estación</b>		<b>Ecuación</b>
	<b>Querocotillo</b>	<b>Chancay Baños</b>	<b>Grado 4</b>
<b>1990</b>	0,81	1,41	1,45
<b>1991</b>	0,60	1,35	1,60
<b>1992</b>	0,62	1,48	1,58
<b>1994</b>	2,66	2,84	2,44
<b>1995</b>	2,08	2,32	2,07
<b>1996</b>	2,40	2,66	2,27
<b>1997</b>	1,87	1,76	1,94
<b>1998</b>	3,21	3,22	3,14
<b>1999</b>	3,17	3,16	3,06
<b>2000</b>	2,93	2,52	2,70
<b>2001</b>	3,00	2,65	2,79
<b>2002</b>	2,73	2,09	2,50
<b>2003</b>	2,24	2,25	2,17
<b>2005</b>	2,37	1,75	2,25
<b>2006</b>	2,79	2,45	2,55
<b>2007</b>	2,72	2,48	2,49
<b>2008</b>	3,23	3,47	3,18
<b>2009</b>	3,14	2,64	3,01
<b>2010</b>	2,50	2,15	2,33
<b>2011</b>	2,67	2,72	2,45
<b>2012</b>	3,05	3,61	2,86
<b>2013</b>	2,89	2,47	2,66
<b>2014</b>	2,75	2,75	2,52
<b>2015</b>	3,23	2,82	3,18
<b>2016</b>	2,55	<b>SD</b>	<b>2,36</b>
<b>2018</b>	2,74	2,35	2,51

Nota. SD: Sin datos para este mes, al emplear la ecuación de regresión de grado 4 se comprueba que los valores obtenidos se aproximan al valor de los datos de la precipitación media de la estación Chancay Baños.

El valor obtenido, mediante el método de correlación entre diferentes estaciones para el 2016 es de 2,36 mm.

**3.7.3.1. Estimación de datos faltantes de precipitación y factor R para el año 2016.** Teniendo en consideración las recomendaciones del ítem 3.7.1. y luego de realizar los procedimientos para determinar los coeficientes de correlación y la estimación de datos faltantes mostrados en el ítem 3.7.3. se obtuvieron las ecuaciones para completar la información de la precipitación máxima y de los factores de erosividad R para las precipitaciones del año 2016; el análisis de estos datos junto con la información obtenida de la precipitación media se muestran en las siguientes tablas:

**Tabla 110**

*Análisis para los datos faltantes del año 2016 - Estación Chancay Baños.*

Datos	Estación con datos (x)	Estación sin datos (y)	Datos dispersos	Coef. Correlación inicial	Coef. Correlación final
Precipitación media	Querocotillo	Chancay Baños	1993, 2004 y 2017	0,76	0,83
Precipitación máxima	Querocotillo	Chancay Baños	1989, 1998, 2000, 2004, 2008, 2009 y 2015	0,49	0,81
Factor R de la Precipitación media	Chugur	Chancay Baños	1993, 2004 y 2012	0,75	0,84
Factor R de la Precipitación máxima	Querocotillo	Chancay Baños	1994, 1996, 1998, 2002 y 2005	0,58	0,83

**Tabla 111**

*Ecuaciones para los datos faltantes del año 2016 - Estación Chancay Baños.*

Datos	Ecuación	Datos obtenidos para el año 2016
Precipitación media (mm)	$y = 0,2149x^4 - 1,6848x^3 + 4,8248x^2 - 5,3139x + 3,3912$	2,36
Precipitación máxima (mm)	$y = 0,000002x^4 + 0,0002x^3 - 0,037x^2 + 1,7441x + 22,276$	59,44
Factor R de la Precipitación media (MJ·mm/ha·h)	$y = 0,0006x^2 + 0,5023x + 27,105$	50,165
Factor R de la Precipitación máxima (MJ·mm/ha·h)	$y = 0,0002x^2 + 0,3312x + 86,028$	187,024

### 3.7.4. Análisis de precipitaciones, factor de erosividad y periodos de retorno

Se procede a determinar las precipitaciones y factores de erosividad para diferentes tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años, mediante las ecuaciones mencionadas en el ítem 2.1.6.2. con respecto a la distribución de Gumbel.

#### 3.7.4.1. Análisis de las precipitaciones medias para un periodo de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.

**Tabla 112**

*Cálculo de  $\alpha$  y  $\mu$  para los datos completos de la precipitación media.*

Año	Datos de precipitación media (mm)								
	Estaciones meteorológicas								
	Chancay Baños	Chotano Lajas	Chugur	Cochabamba	Cutervo	Hacienda Pucara	Llama	Quebrada Shugar	Quero-cotillo
1988	1,80	2,73	5,59	1,85	2,48	1,77	1,69	2,06	0,61
1989	1,74	3,32	8,09	2,30	2,77	2,30	2,02	1,97	0,66
1990	1,41	2,10	1,57	1,52	3,07	1,20	0,87	1,41	0,81
1991	1,35	1,74	0,88	1,10	1,86	2,08	0,91	1,64	0,60
1992	1,48	2,08	1,13	1,49	2,30	2,01	2,24	2,04	0,62
1993	2,87	2,98	6,51	1,85	3,91	1,92	2,97	1,98	1,92
1994	2,84	2,36	4,56	2,33	3,20	1,60	1,89	1,73	2,66
1995	2,32	2,47	4,88	1,49	2,22	1,12	1,54	1,86	2,08
1996	2,66	2,42	4,53	2,40	2,82	1,17	1,64	1,70	2,40
1997	1,76	1,78	3,73	1,11	2,02	0,70	1,82	1,82	1,87
1998	3,22	3,32	4,35	2,27	3,25	2,02	4,06	2,42	3,21
1999	3,16	3,26	5,90	2,88	4,02	1,98	3,06	3,04	3,17
2000	2,52	2,59	4,63	3,41	3,09	1,80	3,16	2,94	2,93
2001	2,65	2,93	5,14	2,62	2,98	1,92	3,00	3,21	3,00
2002	2,09	2,28	4,82	1,92	2,56	1,26	2,29	3,21	2,73
2003	2,25	2,47	3,96	1,93	2,44	1,23	1,67	2,88	2,24
2004	1,77	2,39	3,56	2,05	2,70	1,67	1,41	2,52	2,85
2005	1,75	2,33	4,45	1,95	2,84	1,49	2,13	2,58	2,37
2006	2,45	2,94	5,62	2,50	3,29	2,08	2,27	3,15	2,79
2007	2,48	2,44	4,34	2,27	3,15	2,30	1,67	2,89	2,72
2008	3,47	3,26	6,02	3,99	3,53	2,15	4,29	3,33	3,23
2009	2,64	3,24	5,64	2,11	2,59	1,79	3,24	3,71	3,14
2010	2,15	2,33	4,20	2,52	2,71	1,41	2,46	2,30	2,50
2011	2,72	2,14	4,58	2,20	3,38	1,88	2,19	2,82	2,67
2012	3,61	3,37	5,17	3,64	3,20	1,92	3,55	3,04	3,05



Datos de precipitación media (mm)									
Año	Estaciones meteorológicas								
	Chancay Baños	Chotano Lajas	Chugur	Cochabamba	Cutervo	Hacienda Pucara	Llama	Quebrada Shugar	Quero-cotillo
2013	2,47	2,73	4,62	2,51	3,48	1,55	2,10	3,22	2,89
2014	2,75	2,53	5,15	1,80	2,64	1,72	1,67	2,82	2,75
2015	2,82	2,69	4,31	2,44	3,32	1,20	2,04	2,76	3,23
2016	2,36	2,37	4,57	1,89	3,00	1,36	2,16	2,20	2,55
2017	3,13	2,99	6,27	2,43	3,78	1,72	4,84	3,13	2,79
2018	2,35	2,62	3,21	2,21	3,40	1,47	1,98	2,98	2,74
Análisis de datos									
$S_x$	0,593	0,451	1,484	0,644	0,527	0,388	0,936	0,608	0,845
$\bar{x}$	2,42	2,62	4,58	2,22	2,97	1,67	2,35	2,56	2,38
$\sigma_y$	1,11592	1,11592	1,11592	1,11592	1,11592	1,11592	1,11592	1,11592	1,11592
$\mu_y$	0,53713	0,53713	0,53713	0,53713	0,53713	0,53713	0,53713	0,53713	0,53713
$\alpha$	0,531	0,404	1,330	0,577	0,472	0,348	0,839	0,545	0,757
$u$	2,136	2,402	3,866	1,915	2,714	1,484	1,898	2,267	1,973

Nota.  $\sigma_y$  y  $\mu_y$  para 31 datos son valores mencionados en la *Tabla 3* del ítem 2.1.6.2.

Ecuación(6):  $\alpha = s_x/\sigma_y$  ;  $u = \bar{x} - \mu_y \cdot \alpha$

**Tabla 113**

*Cálculo de la precipitación media para diferentes tiempos de retorno.*

Tiempo de retorno en años (TR)	$F'(x)$	Datos de precipitación media (mm)									Probabilidad (%)	
		Estaciones meteorológicas									Valor igual o menor	Valor mayor
		Chancay Baños	Chotano Lajas	Chugur	Cochabamba	Cutervo	Hacienda Pucara	Llama	Quebrada Shugar	Quero-cotillo		
5	0,80	2,93	3,01	5,86	2,78	3,42	2,01	3,16	3,08	3,11	80,00	20,00
10	0,90	3,33	3,31	6,86	3,21	3,78	2,27	3,79	3,49	3,68	90,00	10,00
25	0,96	3,83	3,69	8,12	3,76	4,22	2,60	4,58	4,01	4,39	96,00	4,00
50	0,98	4,21	3,98	9,06	4,17	4,56	2,84	5,17	4,39	4,93	98,00	2,00
100	0,99	4,58	4,26	9,98	4,57	4,89	3,08	5,76	4,77	5,46	99,00	1,00

Nota. Las ecuaciones empleadas son mencionadas en el ítem 2.1.6., estas son: la

ecuación(11):  $F'(x)=1-1/TR$ ; la ecuación(8):  $Pp_{TR} = -\ln(-\ln(F'(x))) \cdot \alpha + u$ ; la

ecuación(9):  $PM=1/TR$  y la ecuación(10):  $Pm=1-PM$ ; donde  $PM$ : Probabilidad de un valor

mayor;  $Pm$ : Probabilidad de un valor igual o menor;  $Pp_{TR}$ : Precipitación para un determinado

tiempo de retorno (TR);  $\alpha$  y  $u$  son valores determinados en la *Tabla 112*.

*A. Análisis de correlación de la precipitación media para las estaciones de la subcuenca de estudio.* Se analizan los datos de la precipitación media para calcular el coeficiente de correlación y la ecuación de regresión entre diferentes estaciones.

**Tabla 114**

*Coeficiente de correlación de los datos de precipitación media de los diferentes tiempos de retorno de las estaciones de la subcuenca de estudio.*

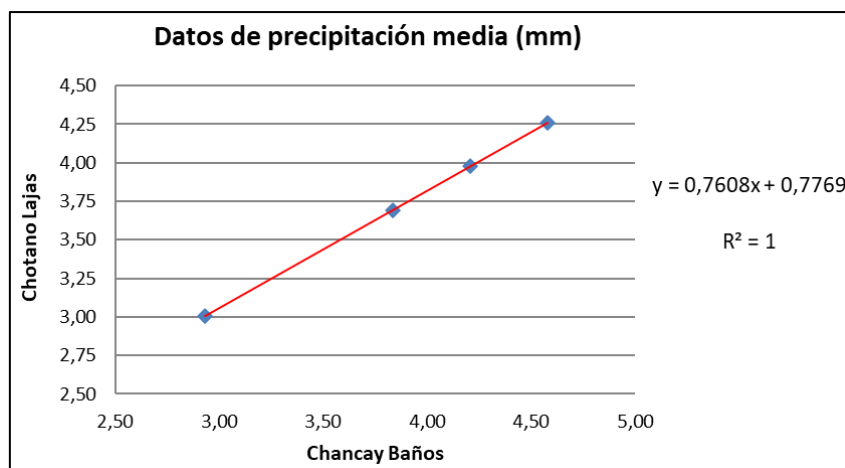
Coeficiente de correlación entre estaciones para los datos de precipitación media de diferentes TR									
Estaciones	Chancay Baños	Chotano Lajas	Chugur	Cochabamba	Cutervo	Hacienda Pucara	Llama	Quebrada Shugar	Querocotillo
Chancay Baños	1,00								
Chotano Lajas	1,00	1,00							
Chugur	1,00	1,00	1,00						
Cochabamba	1,00	1,00	1,00	1,00					
Cutervo	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00				
Hacienda Pucara	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00			
Llama	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		
Quebrada Shugar	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Querocotillo	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Nota. Con los datos de la precipitación media, se observa que el coeficiente de correlación entre todas las estaciones es de 1.

A modo de ejemplo, se muestran las ecuaciones de regresión entre las estaciones Chancay Baños y Chotano Lajas; y entre las estaciones Quebrada Shugar y Querocotillo:

**Figura 43**

*Ecuación de regresión lineal para las estaciones Chancay Baños y Chotano Lajas.*



La ecuación lineal para la relación entre los datos de las estaciones Chancay Baños y Chotano Lajas es la siguiente:

$$y = 0,7608x - 0,7769 \quad (53)$$

**Tabla 115**

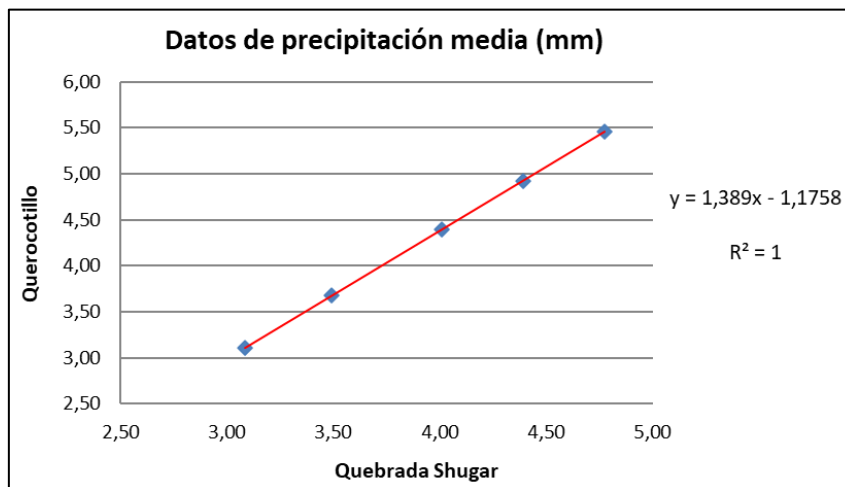
*Valores estimados de precipitación media para la ecuación lineal - Estaciones Chancay Baños y Chotano Lajas.*

Tiempo de retorno (TR)	Datos de precipitación media (mm)		Ecuación Lineal
	Estación		
	Chancay Baños (x)	Chotano Lajas (y)	
<b>5</b>	2,93	3,01	3,01
<b>10</b>	3,33	3,31	3,31
<b>25</b>	3,83	3,69	3,69
<b>50</b>	4,21	3,98	3,98
<b>100</b>	4,58	4,26	4,26

Nota. Al emplear la ecuación de regresión lineal se comprueba que los valores obtenidos se aproximan al valor de los datos de la precipitación media de la estación Chotano Lajas.

**Figura 44**

*Ecuación de regresión lineal para las estaciones Quebrada Shugar y Querocotillo.*



La ecuación lineal para la relación entre los datos de las estaciones Quebrada Shugar y Querocotillo es la siguiente:

$$y = 1,389x - 1,1758 \quad (54)$$

**Tabla 116**

*Valores estimados de precipitación media para la ecuación lineal - Estaciones Quebrada Shugar y Querocotillo.*

Tiempo de retorno (TR)	Datos de precipitación media (mm)		
	Estación		Ecuación
	Quebrada Shugar (x)	Querocotillo (y)	Lineal
5	3,08	3,11	3,11
10	3,49	3,68	3,68
25	4,01	4,39	4,39
50	4,39	4,93	4,93
100	4,77	5,46	5,46

Nota. Al emplear la ecuación de regresión lineal se comprueba que los valores obtenidos se aproximan al valor de los datos de la precipitación media de la estación Querocotillo.

Del mismo modo, se procede a determinar las ecuaciones que expresan la relación de los datos de precipitación media para diferentes tiempos de retorno entre las demás estaciones.

**Tabla 117**

*Ecuaciones de regresión de la Pp media entre las estaciones de la subcuenca de estudio.*

Estación (x)	Estación (y)	Ecuación
Chancay Baños	Chotano Lajas	$y = 0,7608x - 0,7769$
Chotano Lajas	Chugur	$y = 3,2921x - 4,0416$
Chugur	Cochabamba	$y = 0,4338x + 0,2378$
Cochabamba	Cutervo	$y = 0,818x + 1,1475$
Cutervo	Hacienda Pucara	$y = 0,7373x - 0,517$
Hacienda Pucara	Llama	$y = 2,4109x - 1,6798$
Llama	Quebrada Shugar	$y = 0,6496x + 1,0341$
Quebrada Shugar	Querocotillo	$y = 1,389x - 1,1758$

**B. Análisis de relación de la precipitación media vs la altitud.** Con la finalidad de conocer la relación entre estos dos factores se procede a calcular la ecuación de regresión entre la precipitación media y la altitud para diferentes tiempos de retorno.

**Tabla 118**

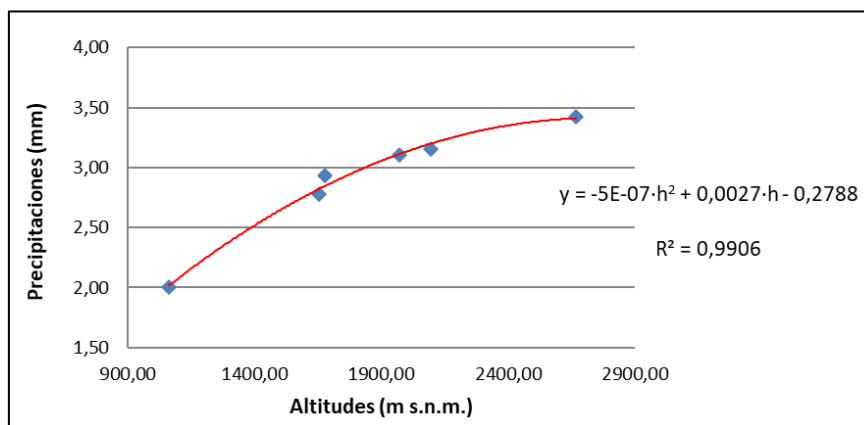
*Precipitaciones medias de las estaciones para diferentes tiempos de retorno.*

Estación	Pp media en diferentes tiempos de retorno (mm)					Altitud (m s.n.m.)
	5	10	25	50	100	
Chancay Baños	2,93	3,33	3,83	4,21	4,58	1 677,0
Chotano Lajas	3,01	3,31	3,69	3,98	4,26	2 163,4
Chugur	5,86	6,86	8,12	9,06	9,98	2 757,0
Cochabamba	2,78	3,21	3,76	4,17	4,57	1 653,0
Cutervo	3,42	3,78	4,22	4,56	4,89	2 668,0
Hacienda Pucara	2,01	2,27	2,60	2,84	3,08	1 061,6
Llama	3,16	3,79	4,58	5,17	5,76	2 096,0
Quebrada Shugar	3,08	3,49	4,01	4,39	4,77	3 292,7
Querocotillo	3,11	3,68	4,39	4,93	5,46	1 970,0

A modo de ejemplo, se presenta en la siguiente figura la ecuación y línea de tendencia para un tiempo de retorno de 5 años, en la cual se descartan los datos con mayor dispersión (Estación Chotano Lajas, Chugur y/o Quebrada Shugar).

**Figura 45**

*Precipitaciones medias para un tiempo de retorno de 5 años vs Altitud.*



Del mismo modo, se procede a determinar las ecuaciones que expresan la relación de los datos de precipitación media vs la altitud para diferentes tiempos de retorno.

**Tabla 119**

*Ecuaciones de regresión de la Pp media(y) vs Altitud(h) para diferentes tiempos de retorno.*

Tiempo de retorno	Ecuación	Tiempo de retorno	Ecuación
5 años	$y = -5E-07 \cdot h^2 + 0,0027 \cdot h - 0,2788$	50 años	$y = -1E-06 \cdot h^2 + 0,0056 \cdot h - 1,6225$
10 años	$y = -8E-07 \cdot h^2 + 0,004 \cdot h - 1,0936$	100 años	$y = -1E-06 \cdot h^2 + 0,0061 \cdot h - 1,9517$
25 años	$y = -1E-06 \cdot h^2 + 0,0057 \cdot h - 2,123$		

*C. Precipitación media de la subcuenca de estudio para diferentes tiempos de retorno.* Mediante las ecuaciones determinadas en la *Tabla 119* se procede a calcular las precipitaciones medias para diferentes tiempos de retorno en base a las altitudes medias de cada rango de altitud definida para la subcuenca del río Chotano.

Al respecto, se determina la precipitación media para toda la subcuenca de estudio mediante la fórmula mencionada por Camacho (2012, p. 122):

$$Pp_{TR} = \frac{\sum(Ppi \cdot a)}{A} \quad (55)$$

Donde:

$PP_{TR}$  = Precipitación media de la subcuenca de estudio para un determinado tiempo de retorno (mm)

$Ppi$  = Precipitación media determinada en cada tramo de área (mm)

$a$  = Área contenida entre las curvas de nivel (km<sup>2</sup>)

$A$  = Área total de la subcuenca de estudio (km<sup>2</sup>)

**Tabla 120**

*Precipitación media de la subcuenca de estudio para diferentes tiempos de retorno.*

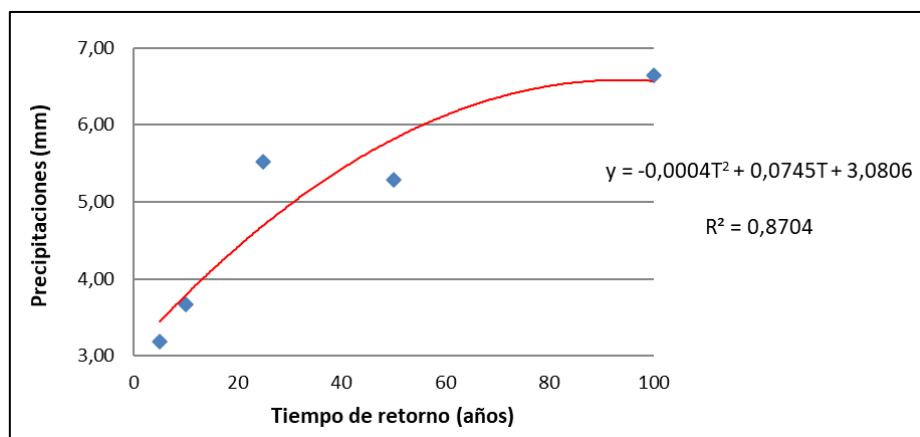
Rango de altitudes (m s.n.m.)	Altitud media (m s.n.m.)	$\alpha$ (km <sup>2</sup> )	Pp media en diferentes tiempos de retorno				
			Ppi (mm)				
			TR5	TR10	TR25	TR50	TR100
1000 - 1200	1100	7,76	2,09	2,34	2,94	3,33	3,55
1200 - 1400	1300	23,48	2,39	2,75	3,60	3,97	4,29
1400 - 1600	1500	48,89	2,65	3,11	4,18	4,53	4,95
1600 - 1800	1700	76,70	2,87	3,39	4,68	5,01	5,53
1800 - 2000	1900	97,23	3,05	3,62	5,10	5,41	6,03
2000 - 2200	2100	138,54	3,19	3,78	5,44	5,73	6,45
2200 - 2400	2300	211,10	3,29	3,87	5,70	5,97	6,79
2400 - 2600	2500	164,34	3,35	3,91	5,88	6,13	7,05
2600 - 2800	2700	142,83	3,37	3,87	5,98	6,21	7,23
2800 - 3000	2900	102,29	3,35	3,78	6,00	6,21	7,33
3000 - 3200	3100	61,17	3,29	3,62	5,94	6,13	7,35
3200 - 3400	3300	41,42	3,19	3,39	5,80	5,97	7,29
3400 - 3600	3500	29,27	3,05	3,11	5,58	5,73	7,15
3600 - 3800	3700	22,31	2,87	2,75	5,28	5,41	6,93
<b>Área Total</b>		1 167,33					
<b>Pp media de la subcuenca</b>			3,18	3,67	5,52	5,78	6,65
<b>Pp total media de la subcuenca</b>			1 160,7	1 339,55	2 014,8	2 113,35	2 427,25

Finalmente, la ecuación que expresa la relación de los datos de precipitación media (y) para toda la subcuenca de estudio en diferentes tiempos de retorno (T) es la siguiente:

$$y = -0,0004 \cdot T^2 + 0,0745 \cdot T + 3,0806 \quad (56)$$

**Figura 46**

*Ecuación de la Pp media de la subcuenca de estudio para diferentes tiempos de retorno.*



**3.7.4.2. Análisis de las precipitaciones máximas para un periodo de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.**

**Tabla 121**

*Cálculo de  $\alpha$  y  $\mu$  para los datos completos de la precipitación máxima.*

Año	Datos de precipitación máxima (mm)								
	Estaciones meteorológicas								
	Chancay Baños	Chotano Lajas	Chugur	Cochabamba	Cutervo	Hacienda Pucara	Llama	Quebrada Shugar	Quero-cotillo
1988	35,70	31,20	45,60	102,00	74,10	40,00	37,10	30,80	7,50
1989	58,00	82,10	43,00	67,20	38,50	39,00	39,50	32,80	5,00
1990	25,20	43,30	27,50	45,00	52,00	40,00	27,40	46,50	6,00
1991	42,20	33,90	9,90	34,00	31,20	25,00	36,50	31,80	6,50
1992	26,30	37,80	8,80	58,00	31,00	28,80	60,30	33,70	7,50
1993	45,20	25,80	64,00	48,60	52,00	43,30	88,40	23,90	17,50
1994	46,90	31,80	26,90	60,00	81,50	31,80	49,20	21,50	31,00
1995	42,40	38,10	50,00	41,00	33,70	23,60	48,50	33,10	46,00
1996	64,20	31,10	63,80	83,00	39,50	40,70	40,50	24,50	61,50
1997	51,10	48,30	53,90	50,50	36,00	12,10	81,80	31,20	33,00
1998	50,20	69,10	50,90	45,00	65,70	60,10	90,30	35,30	80,00
1999	67,90	53,30	85,10	133,82	57,00	37,60	41,60	41,10	62,70
2000	52,00	35,40	62,60	83,00	50,00	70,50	58,90	35,80	55,00
2001	56,30	42,50	43,70	80,20	49,10	51,80	67,20	24,30	40,30
2002	46,70	39,50	75,10	80,50	54,40	40,60	123,30	37,20	40,60
2003	57,50	32,60	74,40	53,00	40,00	61,30	68,00	34,90	62,00
2004	36,00	43,30	58,50	46,70	38,60	50,10	33,90	29,80	66,70
2005	50,50	37,50	67,80	35,10	46,70	50,20	55,30	37,60	36,00
2006	56,50	42,40	59,20	42,60	49,50	51,10	59,70	26,20	49,80
2007	77,80	41,20	44,90	60,60	49,70	60,70	40,30	25,10	51,00
2008	42,20	49,00	87,30	102,20	47,13	52,50	68,80	30,00	47,70
2009	41,90	54,10	62,90	55,80	28,80	53,10	61,90	29,00	55,20
2010	88,80	57,70	74,80	82,20	50,40	45,10	80,70	31,20	67,10
2011	43,90	28,80	66,50	49,20	35,20	31,80	48,10	30,20	37,40
2012	56,60	48,50	48,50	74,40	40,50	39,80	72,20	50,30	42,80
2013	43,10	50,40	52,90	59,50	59,00	47,50	65,80	33,90	43,00
2014	63,20	40,00	87,20	42,40	65,00	58,20	32,50	34,70	35,00
2015	44,50	41,10	85,20	66,40	43,20	82,60	55,50	24,69	51,00
2016	59,44	37,50	61,50	51,50	51,00	49,40	54,50	19,50	56,80
2017	73,70	41,80	86,50	34,80	41,00	39,70	126,30	44,50	50,00
2018	50,00	46,50	42,80	44,20	46,53	33,80	91,00	28,50	39,00



Año	Datos de precipitación máxima (mm)								
	Estaciones meteorológicas								
	Chancay Baños	Chotano Lajas	Chugur	Cochabamba	Cutervo	Hacienda Pucara	Llama	Quebrada Shugar	Quero-cotillo
	Análisis de datos								
$S_x$	13,892	11,706	20,801	22,983	12,386	14,347	24,409	7,095	20,013
$\bar{x}$	51,48	43,08	57,15	61,69	47,68	44,90	61,45	32,05	41,63
$\sigma_y$	1,11592	1,11592	1,11592	1,11592	1,11592	1,11592	1,11592	1,11592	1,11592
$\mu_y$	0,53713	0,53713	0,53713	0,53713	0,53713	0,53713	0,53713	0,53713	0,53713
$\alpha$	12,449	10,490	18,640	20,596	11,099	12,857	21,873	6,358	17,934
$u$	44,795	37,450	47,140	50,628	41,714	37,991	49,703	28,636	31,999

Nota.  $\sigma_y$  y  $\mu_y$  para 31 datos son valores mencionados en la *Tabla 3* del ítem 2.1.6.2.

$$\text{Ecuación(6): } \alpha = s_x/\sigma_y ; u = \bar{x} - \mu_y \cdot \alpha$$

**Tabla 122**

*Cálculo de la precipitación máxima para diferentes tiempos de retorno.*

Tiempo de retorno en años (TR)	$F'(x)$	Datos de precipitación máxima (mm)									Probabilidad (%)	
		Estaciones meteorológicas									Valor igual o menor	Valor mayor
		Chancay Baños	Chotano Lajas	Chugur	Cochabamba	Cutervo	Hacienda Pucara	Llama	Quebrada Shugar	Quero-cotillo		
<b>5</b>	0,80	63,47	53,18	75,10	81,52	58,36	57,28	82,51	38,17	58,90	80,00	20,00
<b>10</b>	0,90	72,81	61,06	89,09	96,98	66,69	66,92	98,93	42,94	72,36	90,00	10,00
<b>25</b>	0,96	84,61	71,00	106,76	116,51	77,21	79,11	119,66	48,97	89,36	96,00	4,00
<b>50</b>	0,98	93,37	78,38	119,87	130,99	85,02	88,16	135,05	53,44	101,98	98,00	2,00
<b>100</b>	0,99	102,06	85,71	132,89	145,37	92,77	97,14	150,32	57,88	114,50	99,00	1,00

Nota. Las ecuaciones empleadas son mencionadas en el ítem 2.1.6., estas son: la

*ecuación(11):*  $F'(x)=1-1/TR$ ; la *ecuación(8):*  $Pp_{TR} = -\ln(-\ln(F'(x))) \cdot \alpha + u$ ; la

*ecuación(9):*  $PM=1/TR$  y la *ecuación(10):*  $Pm=1-PM$ ; donde  $PM$ : Probabilidad de un valor

mayor;  $Pm$ : Probabilidad de un valor igual o menor;  $Pp_{TR}$ : Precipitación para un determinado

tiempo de retorno (TR);  $\alpha$  y  $u$  son valores determinados en la *Tabla 121*.

*A. Análisis de correlación de la precipitación máxima para las estaciones de la subcuenca de estudio.* Se analizan los datos de la precipitación máxima para determinar el coeficiente de correlación y la ecuación de regresión entre diferentes estaciones.

**Tabla 123**

*Coeficiente de correlación entre los datos de precipitación máxima de los diferentes tiempos de retorno de las estaciones de la subcuenca de estudio.*

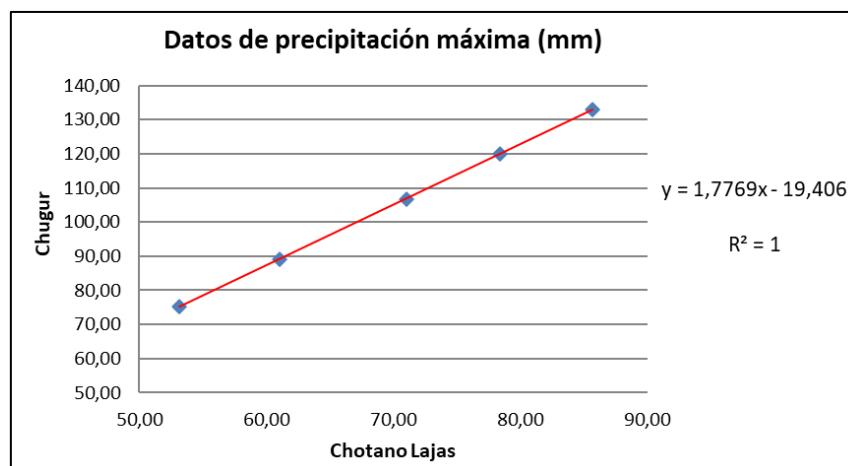
Coeficiente de correlación entre estaciones para los datos de precipitación máxima de diferentes TR									
Estaciones	Chancay Baños	Chotano Lajas	Chugur	Cochabamba	Cutervo	Hacienda Pucara	Llama	Quebrada Shugar	Quero-cotillo
Chancay Baños	1,00								
Chotano Lajas	1,00	1,00							
Chugur	1,00	1,00	1,00						
Cochabamba	1,00	1,00	1,00	1,00					
Cutervo	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00				
Hacienda Pucara	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00			
Llama	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		
Quebrada Shugar	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Quero-cotillo	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Nota. Con los datos de la precipitación máxima, se observa que el coeficiente de correlación entre todas las estaciones es de 1.

A modo de ejemplo, se muestran las ecuaciones de regresión entre las estaciones Chotano Lajas y Chugur; y entre las estaciones Llama y Quebrada Shugar:

**Figura 47**

*Ecuación de regresión lineal para las estaciones Chotano Lajas y Chugur.*



La ecuación lineal para la relación entre los datos de las estaciones Chotano Lajas y Chugur es la siguiente:

$$y = 1,7769x - 19,406 \quad (57)$$

**Tabla 124**

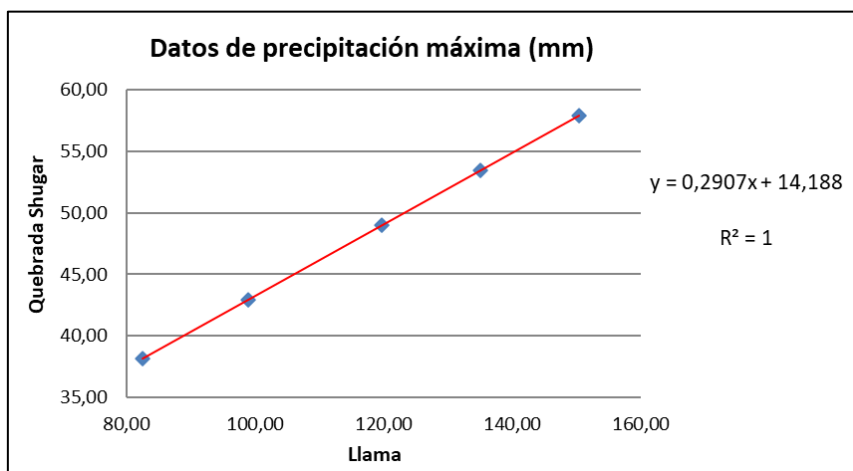
*Valores estimados de precipitación máxima para la ecuación lineal - Estaciones Chotano Lajas y Chugur.*

Tiempo de retorno (TR)	Datos de precipitación máxima (mm)		Ecuación Lineal
	Estación		
	Chotano lajas (x)	Chugur (y)	
<b>5</b>	53,18	75,10	75,10
<b>10</b>	61,06	89,09	89,09
<b>25</b>	71,00	106,76	106,76
<b>50</b>	78,38	119,87	119,87
<b>100</b>	85,71	132,89	132,88

Nota. Al emplear la ecuación de regresión lineal se comprueba que los valores obtenidos se aproximan al valor de los datos de la precipitación máxima de la estación Chugur.

**Figura 48**

*Ecuación de regresión lineal para las estaciones Llama y Quebrada Shugar.*



La ecuación lineal para la relación entre los datos de las estaciones Llama y Quebrada Shugar es la siguiente:

$$y = 0,2907x + 14,188 \quad (58)$$

**Tabla 125**

*Valores estimados de precipitación máxima para la ecuación lineal - Estaciones Llama y Quebrada Shugar.*

Tiempo de retorno (TR)	Datos de precipitación máxima (mm)		
	Estación		Ecuación
	Llama (x)	Quebrada Shugar (y)	Lineal
<b>5</b>	82,51	38,17	38,17
<b>10</b>	98,93	42,94	42,95
<b>25</b>	119,66	48,97	48,97
<b>50</b>	135,05	53,44	53,45
<b>100</b>	150,32	57,88	57,89

Nota. Al emplear la ecuación de regresión lineal se comprueba que los valores obtenidos se aproximan al valor de los datos de la precipitación de la estación Quebrada Shugar.

Del mismo modo, se procede a determinar las ecuaciones que expresan la relación de los datos de precipitación máxima para diferentes tiempos de retorno entre las demás estaciones.

**Tabla 126**

*Ecuaciones de regresión de la Pp máxima entre las estaciones de la subcuenca de estudio.*

Estación (x)	Estación (y)	Ecuación
Chancay Baños	Chotano Lajas	$y = 0,8426x - 0,296$
Chotano Lajas	Chugur	$y = 1,7769x - 19,406$
Chugur	Cochabamba	$y = 1,1049x - 1,4587$
Cochabamba	Cutervo	$y = 0,5389x + 14,431$
Cutervo	Hacienda Pucara	$y = 1,1584x - 10,33$
Hacienda Pucara	Llama	$y = 1,7013x - 14,929$
Llama	Quebrada Shugar	$y = 0,2907x + 14,188$
Quebrada Shugar	Querocotillo	$y = 2,8207x - 48,775$

**B. Análisis de relación de la precipitación máxima vs la altitud.** Con la finalidad de conocer la relación entre estos dos factores se procede a calcular la ecuación de regresión entre la precipitación máxima y la altitud para diferentes tiempos de retorno.

**Tabla 127**

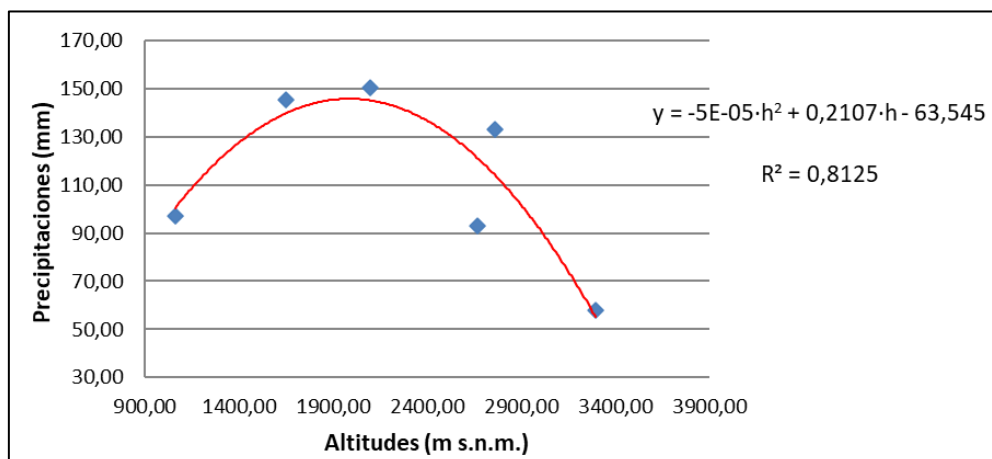
*Precipitaciones máximas de las estaciones para diferentes tiempos de retorno.*

Estación	Pp máxima en diferentes tiempos de retorno (mm)					Altitud (m s.n.m.)
	5	10	25	50	100	
Chancay Baños	63,47	72,81	84,61	93,37	102,06	1 677,0
Chotano Lajas	53,18	61,06	71,00	78,38	85,71	2 163,4
Chugur	75,10	89,09	106,76	119,87	132,89	2 757,0
Cochabamba	81,52	96,98	116,51	130,99	145,37	1 653,0
Cutervo	58,36	66,69	77,21	85,02	92,77	2 668,0
Hacienda Pucara	57,28	66,92	79,11	88,16	97,14	1 061,6
Llama	82,51	98,93	119,66	135,05	150,32	2 096,0
Quebrada Shugar	38,17	42,94	48,97	53,44	57,88	3 292,7
Querocotillo	58,90	72,36	89,36	101,98	114,50	1 970,0

A modo de ejemplo, se presenta en la siguiente figura la ecuación y línea de tendencia para un tiempo de retorno de 100 años, en la cual se descartan los datos con mayor dispersión (Estación Chotano Lajas, Querocotillo y/o Chancay Baños).

**Figura 49**

*Precipitaciones máximas para un tiempo de retorno de 100 años vs Altitud.*



Del mismo modo, se procede a determinar las ecuaciones que expresan la relación de los datos de precipitación máxima vs la altitud para diferentes tiempos de retorno.

**Tabla 128**

*Ecuaciones de regresión de la Pp máxima(y) vs Altitud(h) para diferentes tiempos de retorno.*

Tiempo de retorno	Ecuación	Tiempo de retorno	Ecuación
5 años	$y = -2E-05 \cdot h^2 + 0,0966 \cdot h - 19,698$	50 años	$y = -4E-05 \cdot h^2 + 0,168 \cdot h - 45,96$
10 años	$y = -3E-05 \cdot h^2 + 0,1311 \cdot h - 33,364$	100 años	$y = -5E-05 \cdot h^2 + 0,2107 \cdot h - 63,545$
25 años	$y = -3E-05 \cdot h^2 + 0,1343 \cdot h - 23,545$		

**C. Precipitación máxima media de la subcuenca de estudio para diferentes tiempos de retorno.** Mediante las ecuaciones determinadas en la *Tabla 128* se procede a calcular las precipitaciones máximas para diferentes tiempos de retorno en base a las altitudes medias de cada rango de altitud definida en la subcuenca del río Chotano.

Al respecto, se determina la precipitación máxima media para toda la subcuenca de estudio mediante la *ecuación(55)*:

$$Pp_{TR} = \frac{\sum(Ppi \cdot a)}{A}$$

Donde:

$PP_{TR}$  = Precipitación máxima media de la subcuenca de estudio para un determinado tiempo de retorno (mm)

$Ppi$  = Precipitación máxima determinada en cada tramo de área (mm)

$a$  = Área contenida entre las curvas de nivel (km<sup>2</sup>)

$A$  = Área total de la subcuenca de estudio (km<sup>2</sup>)

Tabla 129

Precipitación máxima media de la subcuenca de estudio para diferentes tiempos de retorno.

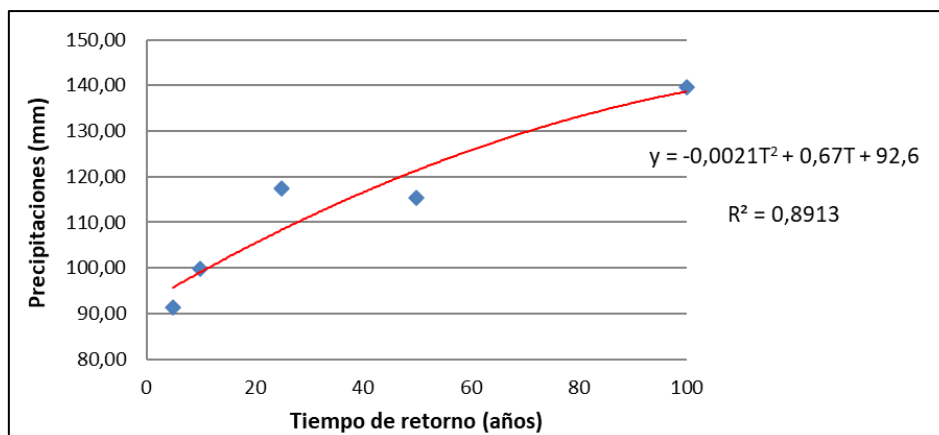
Rango de altitudes (m s.n.m.)	Altitud media (m s.n.m.)	$\alpha$ (km <sup>2</sup> )	Pp máxima en diferentes tiempos de retorno				
			Ppi (mm)				
			TR5	TR10	TR25	TR50	TR100
1000 - 1200	1100	7,76	62,36	74,55	87,89	90,44	107,73
1200 - 1400	1300	23,48	72,08	86,37	100,35	104,84	125,87
1400 - 1600	1500	48,89	80,20	95,79	110,41	116,04	140,01
1600 - 1800	1700	76,70	86,72	102,81	118,07	124,04	150,15
1800 - 2000	1900	97,23	91,64	107,43	123,33	128,84	156,29
2000 - 2200	2100	138,54	94,96	109,65	126,19	130,44	158,43
2200 - 2400	2300	211,10	96,68	109,47	126,65	128,84	156,57
2400 - 2600	2500	164,34	96,80	106,89	124,71	124,04	150,71
2600 - 2800	2700	142,83	95,32	101,91	120,37	116,04	140,85
2800 - 3000	2900	102,29	92,24	94,53	113,63	104,84	126,99
3000 - 3200	3100	61,17	87,56	84,75	104,49	90,44	109,13
3200 - 3400	3300	41,42	81,28	72,57	92,95	72,84	87,26
3400 - 3600	3500	29,27	73,40	57,99	79,01	52,04	61,41
3600 - 3800	3700	22,31	63,92	41,01	62,67	28,04	31,55
<b>Área Total</b>		1 167,33					
<b>Pp máxima media de la subcuenca</b>			91,22	99,81	117,33	130,44	139,64

Finalmente, la ecuación que expresa la relación de los datos de precipitación máxima media (y) para la subcuenca de estudio en diferentes tiempos de retorno (T) es la siguiente:

$$y = -0,0021 \cdot T^2 + 0,67 \cdot T + 92,6 \quad (59)$$

Figura 50

Ecuación de la Pp máxima media de la subcuenca para diferentes tiempos de retorno.



**3.7.4.3. Análisis del factor de erosividad R de la precipitación media para diferentes tiempos de retorno.**

**Tabla 130**

*Cálculo de  $\alpha$  y  $\mu$  para los datos completos de erosividad (Factor R) de la precipitación media para la ecuación de Gumbel.*

Año	Factor de erosividad R de la precipitación media (MJ·mm/ha·h)								
	Estaciones meteorológicas								
	Chancay Baños	Chotano Lajas	Chugur	Cochabamba	Cutervo	Hacienda Pucara	Llama	Quebrada Shugar	Quero-cotillo
1988	30,548	46,085	106,647	29,468	48,699	65,146	34,773	42,188	11,041
1989	34,129	59,675	221,811	41,841	47,835	75,176	53,359	37,452	8,304
1990	27,209	44,925	48,442	33,649	58,418	97,086	25,132	25,709	10,368
1991	38,745	42,747	24,733	23,353	30,090	46,993	50,907	30,432	9,314
1992	27,755	37,731	26,162	26,975	31,352	56,590	56,685	29,146	8,469
1993	58,607	50,581	112,016	40,004	66,144	40,024	93,224	31,714	31,713
1994	54,283	44,303	98,465	50,564	66,161	35,375	49,144	29,035	45,388
1995	39,030	40,840	87,232	25,741	48,667	28,627	42,076	32,627	42,736
1996	57,752	47,316	97,404	51,921	55,123	24,251	42,428	35,662	40,377
1997	44,322	40,091	69,227	29,310	42,643	17,084	46,610	33,318	38,770
1998	78,652	61,394	84,446	53,216	63,035	41,081	121,495	47,214	75,133
1999	56,633	59,196	102,067	49,484	76,813	35,737	94,858	64,725	69,497
2000	48,591	44,922	91,653	66,991	62,636	36,396	81,000	50,982	44,951
2001	57,374	56,937	93,439	57,889	53,289	34,598	99,201	70,935	42,596
2002	50,893	42,384	89,182	36,155	42,033	25,136	80,460	57,076	43,210
2003	36,216	39,411	64,109	35,214	49,250	22,243	40,034	44,384	34,222
2004	28,570	41,801	55,713	34,102	52,983	35,527	23,351	40,159	43,116
2005	52,774	53,125	104,980	45,867	61,293	41,517	93,309	53,266	51,150
2006	44,566	61,028	109,931	51,256	64,941	50,110	87,146	63,200	53,169
2007	58,920	45,467	78,956	41,291	57,358	54,223	44,680	52,989	50,261
2008	63,920	63,270	117,852	69,706	61,510	42,342	123,146	62,392	61,326
2009	47,215	65,168	99,301	41,176	42,586	39,635	94,536	64,129	51,836
2010	51,819	45,855	85,850	52,575	47,424	36,310	70,491	36,183	51,140
2011	57,901	39,277	86,330	44,630	57,838	36,685	56,789	52,209	38,860
2012	76,309	65,279	118,496	77,595	66,737	38,157	95,825	59,689	53,633
2013	50,881	53,443	85,025	59,715	63,297	32,116	66,290	63,428	47,914
2014	48,934	45,392	92,592	29,480	45,500	38,166	34,764	55,359	39,219
2015	62,035	57,849	126,672	53,677	73,016	38,230	81,064	54,715	71,685
2016	50,165	40,830	80,442	41,131	55,736	28,533	59,175	52,578	43,635
2017	66,186	54,650	120,801	57,855	64,453	45,080	213,199	53,264	48,634
2018	49,753	47,366	64,017	42,314	57,311	36,497	43,158	47,384	46,710



Factor de erosividad R de la precipitación media (MJ·mm/ha·h)									
Año	Estaciones meteorológicas								
	Chancay Baños	Chotano Lajas	Chugur	Cochabamba	Cutervo	Hacienda Pucara	Llama	Quebrada Shugar	Quero-cotillo
Análisis de datos									
$S_x$	13,080	8,587	34,760	13,470	11,031	15,847	37,861	12,822	17,618
$\bar{x}$	50,022	49,624	91,742	44,972	55,296	41,118	70,913	47,534	42,206
$\sigma_y$	1,11592	1,11592	1,11592	1,11592	1,11592	1,11592	1,11592	1,11592	1,11592
$\mu_y$	0,53713	0,53713	0,53713	0,53713	0,53713	0,53713	0,53713	0,53713	0,53713
$\alpha$	11,721	7,695	31,149	12,071	9,885	14,201	33,928	11,490	15,788
$u$	43,726	45,491	75,011	38,488	49,986	33,490	52,689	41,362	33,726

Nota.  $\sigma_y$  y  $\mu_y$  para 31 datos son valores mencionados en la *Tabla 3* del ítem 2.1.6.2.

Ecuación(6):  $\alpha = s_x/\sigma_y$  ;  $u = \bar{x} - \mu_y \cdot \alpha$

**Tabla 131**

*Cálculo del factor de erosividad de la precipitación media para diferentes tiempos de retorno.*

Tiempo de retorno en años (TR)	$F'(x)$	Factor de erosividad R de la precipitación media (MJ·mm/ha·h)									Probabilidad (%)	
		Estaciones meteorológicas									Valor igual o menor	Valor mayor
		Chancay Baños	Chotano Lajas	Chugur	Cochabamba	Cutervo	Hacienda Pucara	Llama	Quebrada Shugar	Quero-cotillo		
<b>5</b>	0,80	61,307	57,033	121,733	56,594	64,813	54,791	103,579	58,596	57,407	80,00	20,00
<b>10</b>	0,90	70,103	62,808	145,108	65,652	72,231	65,447	129,039	67,219	69,255	90,00	10,00
<b>25</b>	0,96	81,216	70,104	174,642	77,098	81,604	78,912	161,209	78,113	84,224	96,00	4,00
<b>50</b>	0,98	89,461	75,516	196,552	85,588	88,557	88,901	185,074	86,195	95,330	98,00	2,00
<b>100</b>	0,99	97,644	80,889	218,301	94,016	95,458	98,817	208,763	94,218	106,353	99,00	1,00

Nota. Las ecuaciones empleadas son mencionadas en el ítem 2.1.6., estas son: la

ecuación(11):  $F'(x)=1-1/TR$ ; la ecuación(8):  $FR_{TR} = -\ln(-\ln(F'(x))) \cdot \alpha + u$ ; la

ecuación(9):  $PM=1/TR$  y la ecuación(10):  $Pm=1-PM$ ; donde  $PM$ : Probabilidad de un valor

mayor;  $Pm$ : Probabilidad de un valor igual o menor;  $FR_{TR}$ : Factor R para un determinado

tiempo de retorno (TR);  $\alpha$  y  $u$  son valores determinados en la *Tabla 130*

**A. Análisis de correlación del factor R de la precipitación media para las estaciones de la subcuenca de estudio.** Se analiza los datos del factor R para calcular el coeficiente de correlación y la ecuación de regresión entre diferentes estaciones.

**Tabla 132**

*Coeficiente de correlación del factor R de la precipitación media de los diferentes tiempos de retorno entre las estaciones de la subcuenca de estudio.*

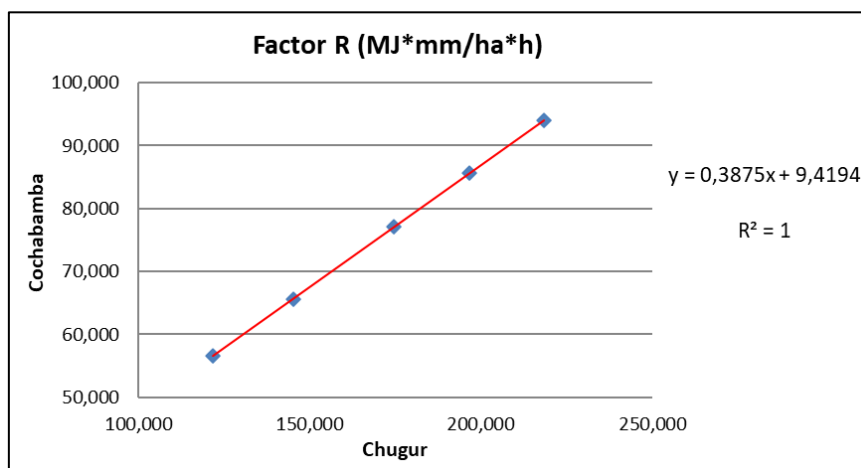
Coeficiente de correlación entre estaciones para los datos del factor R de la Pp media de diferentes TR									
Estaciones	Chancay Baños	Chotano Lajas	Chugur	Cochabamba	Cutervo	Hacienda Pucara	Llama	Quebrada Shugar	Quero-cotillo
Chancay Baños	1,00								
Chotano Lajas	1,00	1,00							
Chugur	1,00	1,00	1,00						
Cochabamba	1,00	1,00	1,00	1,00					
Cutervo	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00				
Hacienda Pucara	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00			
Llama	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		
Quebrada Shugar	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Quero-cotillo	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Nota. Con los datos del factor de erosividad R de la precipitación media, se observa que el coeficiente de correlación entre todas las estaciones es de 1.

A modo de ejemplo se procede a determinar la ecuación de regresión entre las estaciones Chugur y Cochabamba; y entre las estaciones Hacienda Pucara y Llama.

**Figura 51**

*Ecuación de regresión lineal para las estaciones Chugur y Cochabamba.*



La ecuación lineal para la relación entre los datos de las estaciones Chugur y Cochabamba es la siguiente:

$$y = 0,3875x + 9,4194 \quad (60)$$

**Tabla 133**

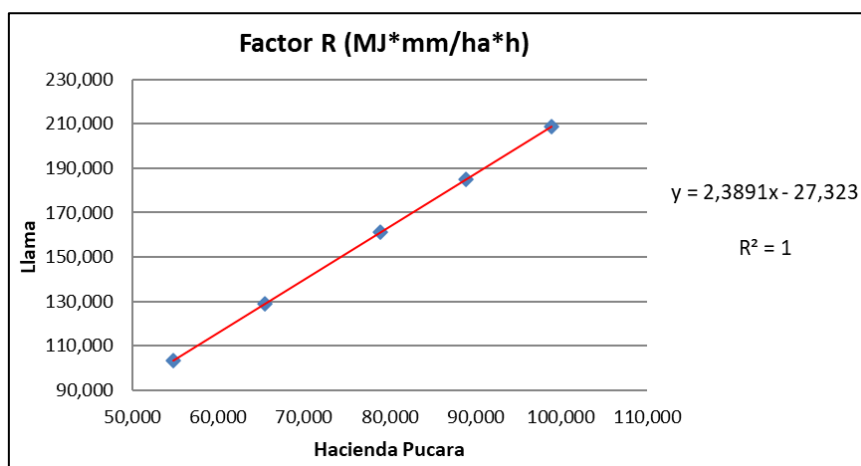
*Valores estimados del factor R de la precipitación media para la ecuación lineal - Estaciones Chugur y Cochabamba.*

Tiempo de retorno (TR)	Estación		Ecuación
	Chugur (x)	Cochabamba (y)	Lineal
<b>5</b>	121,733	56,594	56,591
<b>10</b>	145,108	65,652	65,649
<b>25</b>	174,642	77,098	77,093
<b>50</b>	196,552	85,588	85,583
<b>100</b>	218,301	94,016	94,011

Nota. Al emplear la ecuación de regresión lineal se comprueba que los valores obtenidos se aproximan al valor de los datos del factor R de la precipitación media de la estación Cochabamba.

**Figura 52**

*Ecuación de regresión lineal para las estaciones Hacienda Pucara y Llama.*



La ecuación lineal para la relación entre los datos de las estaciones Hacienda Pucara y Llama es la siguiente:

$$y = 2,3891x - 27,323 \quad (61)$$

**Tabla 134**

*Valores estimados del factor R de la precipitación media para la ecuación lineal - Estaciones Hacienda Pucara y Llama.*

Tiempo de retorno (TR)	Factor R de la precipitación media (MJ·mm/ha·h)		Ecuación Lineal
	Estación		
	Hacienda Pucara (x)	Llama (y)	
5	54,791	103,579	103,577
10	65,447	129,039	129,038
25	78,912	161,209	161,207
50	88,901	185,074	185,071
100	98,817	208,763	208,760

Nota. Al emplear la ecuación de regresión lineal se comprueba que los valores obtenidos se aproximan al valor de los datos del factor R de la estación Llama.

Del mismo modo, se procede a determinar las ecuaciones que expresan la relación de los datos del factor R de la precipitación media para diferentes tiempos de retorno entre las demás estaciones.

**Tabla 135**

*Ecuaciones del factor R de la Pp media entre las diferentes estaciones.*

Estación (x)	Estación (y)	Ecuación
Chancay Baños	Chotano Lajas	$y = 0,6565x + 16,784$
Chotano Lajas	Chugur	$y = 4,048x - 109,13$
Chugur	Cochabamba	$y = 0,3875x + 9,4194$
Cochabamba	Cutervo	$y = 0,8189x + 18,468$
Cutervo	Hacienda Pucara	$y = 1,4366x - 38,321$
Hacienda Pucara	Llama	$y = 2,3891x - 27,323$
Llama	Quebrada Shugar	$y = 0,3387x + 23,518$
Quebrada Shugar	Querocotillo	$y = 1,3741x - 23,108$

**B. Análisis de relación del factor R de la precipitación media vs la altitud.** Para conocer la relación entre estos dos factores se procede a calcular la ecuación de regresión entre el factor R y la altitud para diferentes tiempos de retorno.

**Tabla 136**

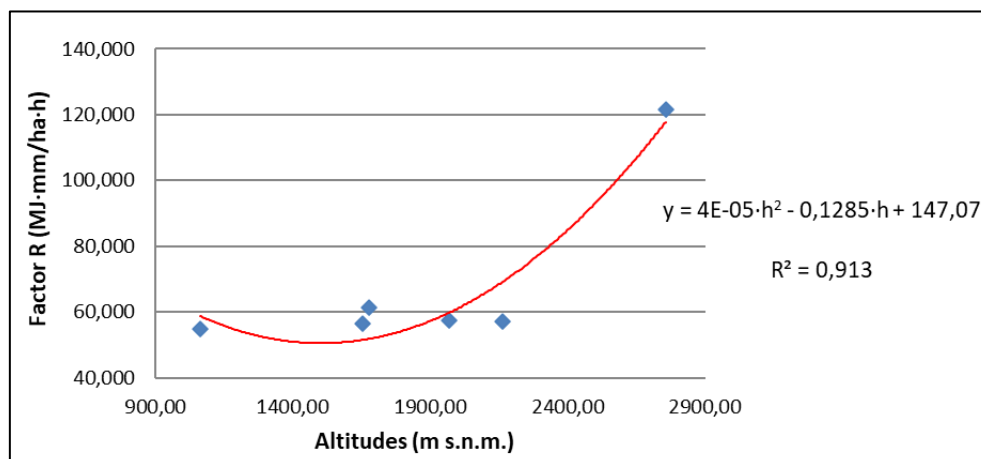
*Factor R de la Pp media para diferentes tiempos de retorno.*

Estación	Factor R para diferentes tiempos de retorno (MJ·mm/ha·h)					Altitud (m s.n.m.)
	5	10	25	50	100	
Chancay Baños	61,307	70,103	81,216	89,461	97,644	1 677,0
Chotano Lajas	57,033	62,808	70,104	75,516	80,889	2 163,4
Chugur	121,733	145,108	174,642	196,552	218,301	2 757,0
Cochabamba	56,594	65,652	77,098	85,588	94,016	1 653,0
Cutervo	64,813	72,231	81,604	88,557	95,458	2 668,0
Hacienda Pucara	54,791	65,447	78,912	88,901	98,817	1 061,6
Llama	103,579	129,039	161,209	185,074	208,763	2 096,0
Quebrada Shugar	58,596	67,219	78,113	86,195	94,218	3 292,7
Querocotillo	57,407	69,255	84,224	95,330	106,353	1 970,0

A modo de ejemplo se presenta en la siguiente figura, la ecuación y línea de tendencia para un tiempo de retorno de 5 años, en la cual se descartan los datos con mayor dispersión (Estación Cutervo, Llama y/o Quebrada Shugar).

**Figura 53**

*Factor R de la Pp media para un tiempo de retorno de 5 años vs Altitud.*



Del mismo modo, se procede a determinar las ecuaciones que expresan la relación de los datos del factor R de la precipitación media vs la altitud para diferentes tiempos de retorno.

**Tabla 137**

*Ecuaciones del Factor R de la Pp media (y) vs Altitud (h) para diferentes tiempos de retorno.*

Tiempo de retorno	Ecuación	Tiempo de retorno	Ecuación
5 años	$y = 4E-05 \cdot h^2 - 0,1285 \cdot h + 147,07$	50 años	$y = 8E-05 \cdot h^2 - 0,2479 \cdot h + 269,53$
10 años	$y = 5E-05 \cdot h^2 - 0,1658 \cdot h + 185,33$	100 años	$y = 9E-05 \cdot h^2 - 0,2826 \cdot h + 305,13$
25 años	$y = 7E-05 \cdot h^2 - 0,213 \cdot h + 233,67$		

**C. Factor R medio de la subcuenca de estudio para diferentes tiempos de retorno.**

Mediante las ecuaciones determinadas en la *Tabla 137* se procede a calcular el factor R de las precipitaciones medias para diferentes tiempos de retorno en base a las altitudes medias de cada rango de altitud definida en la subcuenca del río Chotano.

Debido a lo mencionado en el *ítem 3.7.2.* sobre la relación de la erosividad y la precipitación y de cómo están vinculadas directamente, se puede inferir de la *ecuación(55)* la siguiente fórmula para determinar el factor R medio para toda la subcuenca de estudio:

$$FR_{TR} = \frac{\sum(Fri \cdot a)}{A} \quad (62)$$

Donde:

$FR_{TR}$  = Factor R medio de la subcuenca de estudio para un determinado tiempo de retorno (MJ·mm/ha·h)

Fri = Factor R determinado en cada tramo de área (MJ·mm/ha·h)

$a$  = Área contenida entre las curvas de nivel (km<sup>2</sup>)

$A$  = Área total de la subcuenca de estudio (km<sup>2</sup>)

Tabla 138

Factor R medio de la subcuenca de estudio para diferentes tiempos de retorno.

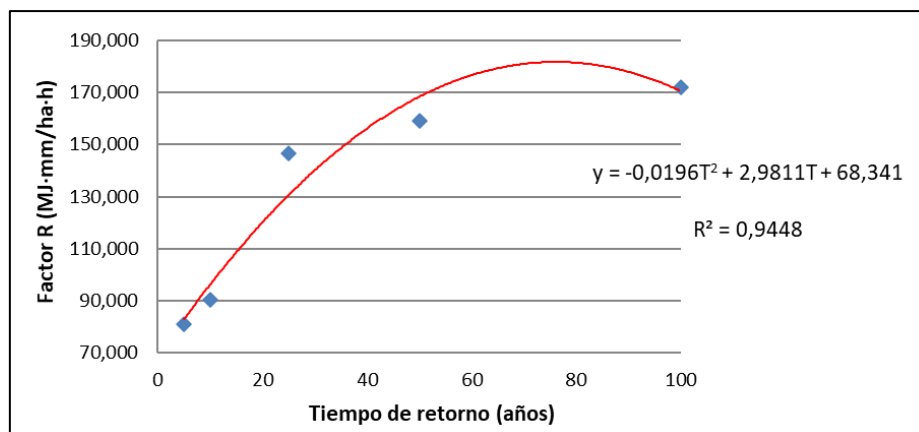
Rango de altitudes (m s.n.m.)	Altitud media (m s.n.m.)	$\alpha$ (km <sup>2</sup> )	Factor R de la Pp media en diferentes tiempos de retorno - Fri (MJ·mm/ha·h)				
			TR5	TR10	TR25	TR50	TR100
1000 - 1200	1100	7,76	54,120	63,450	84,070	93,640	103,170
1200 - 1400	1300	23,48	47,620	54,290	75,070	82,460	89,850
1400 - 1600	1500	48,89	44,320	49,130	71,670	77,680	83,730
1600 - 1800	1700	76,70	44,220	47,970	73,870	79,300	84,810
1800 - 2000	1900	97,23	47,320	50,810	81,670	87,320	93,090
2000 - 2200	2100	138,54	53,620	57,650	95,070	101,740	108,570
2200 - 2400	2300	211,10	63,120	68,490	114,070	122,560	131,250
2400 - 2600	2500	164,34	75,820	83,330	138,670	149,780	161,130
2600 - 2800	2700	142,83	91,720	102,170	168,870	183,400	198,210
2800 - 3000	2900	102,29	110,820	125,010	204,670	223,420	242,490
3000 - 3200	3100	61,17	133,120	151,850	246,070	269,840	293,970
3200 - 3400	3300	41,42	158,620	182,690	293,070	322,660	352,650
3400 - 3600	3500	29,27	187,320	217,530	345,670	381,880	418,530
3600 - 3800	3700	22,31	219,220	256,370	403,870	447,500	491,610
<b>Área Total</b>		1 167,33					
<b>Factor R medio de la subcuenca</b>			80,897	90,164	146,437	159,078	171,939

Finalmente, la ecuación que expresa la relación de los datos del factor R medio (y) para toda la subcuenca de estudio en diferentes tiempos de retorno (T) es la siguiente:

$$y = -0,0196 \cdot T^2 + 2,9811 \cdot T + 68,341 \quad (63)$$

Figura 54

Ecuación del factor R medio de la subcuenca de estudio para diferentes tiempos de retorno.



**3.7.4.4. Análisis del factor de erosividad R de la precipitación máxima para diferentes tiempos de retorno.**

**Tabla 139**

*Cálculo de  $\alpha$  y  $\mu$  para los datos completos de erosividad de la precipitación máxima para la ecuación de Gumbel.*

Año	Factor de erosividad R de la precipitación máxima (MJ·mm/ha·h)								
	Estaciones meteorológicas								
	Chancay Baños	Chotano Lajas	Chugur	Cochabamba	Cutervo	Hacienda Pucara	Llama	Quebrada Shugar	Quero-cotillo
1988	130,176	175,080	106,671	135,692	113,625	89,475	160,353	91,486	30,131
1989	139,662	213,111	168,276	207,983	209,729	76,640	118,619	107,843	37,050
1990	111,743	95,760	79,872	96,106	154,433	61,425	84,423	84,183	41,460
1991	80,050	117,151	47,507	111,824	134,209	126,571	57,884	99,632	31,348
1992	127,543	140,983	59,296	126,005	151,927	83,717	171,520	117,895	29,198
1993	191,110	145,915	261,467	107,670	219,826	169,185	139,946	129,092	62,286
1994	205,155	136,939	126,642	158,868	147,782	110,387	123,620	112,449	138,468
1995	176,003	117,559	235,825	98,181	132,431	77,541	95,590	81,970	101,385
1996	189,944	123,602	150,558	166,750	154,558	87,805	100,563	92,385	141,648
1997	114,380	104,595	156,991	101,282	116,287	53,433	158,520	100,891	143,197
1998	222,320	208,549	202,517	148,230	253,176	191,661	232,777	156,332	200,087
1999	209,372	184,984	329,555	220,911	216,851	158,645	162,694	159,764	172,994
2000	151,684	134,523	153,371	179,298	156,914	110,710	141,533	138,471	231,382
2001	145,166	138,151	241,045	232,632	166,737	266,683	128,548	114,302	225,746
2002	142,075	163,387	296,997	174,591	174,797	103,780	163,982	148,475	206,350
2003	231,004	196,297	245,378	184,225	149,569	116,974	110,820	144,877	149,525
2004	142,505	149,574	200,079	131,646	156,771	153,950	105,184	148,947	193,120
2005	82,332	127,013	208,975	139,801	138,452	113,376	97,176	137,370	172,678
2006	196,975	206,441	296,002	165,703	155,562	149,755	94,071	164,020	156,201
2007	141,411	153,801	226,214	150,595	179,945	193,094	96,257	135,451	167,943
2008	215,245	177,007	238,412	277,531	181,352	164,120	206,003	120,573	168,519
2009	231,773	189,938	286,207	137,606	147,034	128,794	193,055	113,347	216,706
2010	156,875	120,866	219,571	209,478	187,419	143,712	239,033	143,150	200,996
2011	183,476	105,403	237,428	140,142	190,172	154,599	125,557	135,492	227,238
2012	157,837	207,845	207,156	245,596	166,760	136,359	155,729	130,835	137,035
2013	167,048	125,575	190,571	154,116	177,513	106,822	119,643	169,724	158,022
2014	167,042	133,994	175,792	182,449	153,797	139,244	131,986	121,125	195,303
2015	157,971	185,602	130,170	192,984	157,857	104,175	87,559	146,941	138,267
2016	187,024	177,137	263,130	168,577	170,885	122,580	162,998	128,586	176,136
2017	206,033	188,645	294,124	177,990	219,374	110,903	194,960	135,704	158,028
2018	168,101	207,651	246,647	222,100	213,046	107,658	136,407	125,017	154,997



Año	Factor de erosividad R de la precipitación máxima (MJ·mm/ha·h)								
	Estaciones meteorológicas								
	Chancay Baños	Chotano Lajas	Chugur	Cochabamba	Cutervo	Hacienda Pucara	Llama	Quebrada Shugar	Quero-cotillo
	Análisis de datos								
$S_x$	40,087	35,892	71,910	45,232	32,379	43,661	43,876	23,360	62,050
$\bar{x}$	165,453	156,551	202,660	166,018	169,316	126,251	138,613	126,978	147,208
$\sigma_y$	1,11592	1,11592	1,11592	1,11592	1,11592	1,11592	1,11592	1,11592	1,11592
$\mu_y$	0,53713	0,53713	0,53713	0,53713	0,53713	0,53713	0,53713	0,53713	0,53713
$\alpha$	35,923	32,164	64,440	40,533	29,016	39,126	39,318	20,933	55,604
$u$	146,158	139,275	168,047	144,247	153,731	105,235	117,494	115,734	117,341

Nota.  $\sigma_y$  y  $\mu_y$  para 31 datos son valores mencionados en la *Tabla 3* del ítem 2.1.6.2.

$$\text{Ecuación(6): } \alpha = s_x/\sigma_y ; u = \bar{x} - \mu_y \cdot \alpha$$

**Tabla 140**

*Cálculo del factor de erosividad de la precipitación máxima para diferentes tiempos de retorno.*

Tiempo de retorno en años (TR)	$F'(x)$	Factor de erosividad R de la precipitación máxima (MJ·mm/ha·h)									Probabilidad (%)	
		Estaciones meteorológicas									Valor igual o menor	Valor mayor
		Chancay Baños	Chotano Lajas	Chugur	Cochabamba	Cutervo	Hacienda Pucara	Llama	Quebrada Shugar	Quero-cotillo		
5	0,80	200,040	187,519	264,703	205,044	197,253	163,922	176,469	147,132	200,744	80,00	20,00
10	0,90	226,998	211,656	313,061	235,461	219,028	193,283	205,974	162,841	242,470	90,00	10,00
25	0,96	261,059	242,153	374,161	273,893	246,540	230,381	243,254	182,689	295,192	96,00	4,00
50	0,98	286,327	264,777	419,488	302,404	266,950	257,902	270,910	197,413	334,304	98,00	2,00
100	0,99	311,409	287,234	464,481	330,705	287,209	285,220	298,363	212,029	373,128	99,00	1,00

Nota. Las ecuaciones empleadas son mencionadas en el ítem 2.1.6, estas son: la

*ecuación(11):*  $F'(x)=1-1/TR$ ; la *ecuación(8):*  $FR_{TR} = -\ln(-\ln(F'(x))) \cdot \alpha + u$ ; la

*ecuación(9):*  $PM=1/TR$  y la *ecuación(10):*  $Pm=1-PM$ ; donde  $PM$ : Probabilidad de un valor

mayor;  $Pm$ : Probabilidad de un valor igual o menor;  $FR_{TR}$ : Factor R para un determinado

tiempo de retorno (TR);  $\alpha$  y  $u$  son valores determinados en la *Tabla 139*.

*A. Análisis de correlación del factor R de la precipitación máxima para las estaciones de la subcuenca de estudio.* Se analiza los datos del factor R para calcular el coeficiente de correlación y la ecuación de regresión entre diferentes estaciones.

**Tabla 141**

*Coeficiente de correlación del factor R de la precipitación máxima de los diferentes tiempos de retorno entre las estaciones de la subcuenca de estudio.*

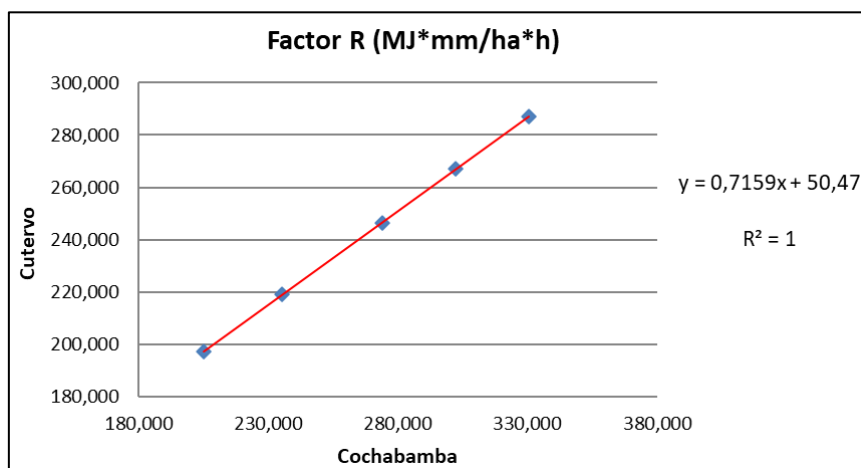
Coeficiente de correlación entre estaciones para los datos del factor R de la Pp máxima de diferentes TR									
Estaciones	Chancay Baños	Chotano Lajas	Chugur	Cochabamba	Cutervo	Hacienda Pucara	Llama	Quebrada Shugar	Quero-cotillo
Chancay Baños	1,00								
Chotano Lajas	1,00	1,00							
Chugur	1,00	1,00	1,00						
Cochabamba	1,00	1,00	1,00	1,00					
Cutervo	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00				
Hacienda Pucara	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00			
Llama	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		
Quebrada Shugar	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Quero-cotillo	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Nota. Con los datos del factor de erosividad R de la precipitación máxima, se observa que el coeficiente de correlación entre todas las estaciones es de 1.

A modo de ejemplo se procede a determinar la ecuación de regresión entre las estaciones Cochabamba y Cutervo, y entre las estaciones Cutervo y Hacienda Pucara.

**Figura 55**

*Ecuación de regresión lineal para las estaciones Cochabamba y Cutervo.*



La ecuación lineal para la relación entre los datos de las estaciones Cochabamba y Cutervo es la siguiente:

$$y = 0,7159x + 50,47 \quad (64)$$

**Tabla 142**

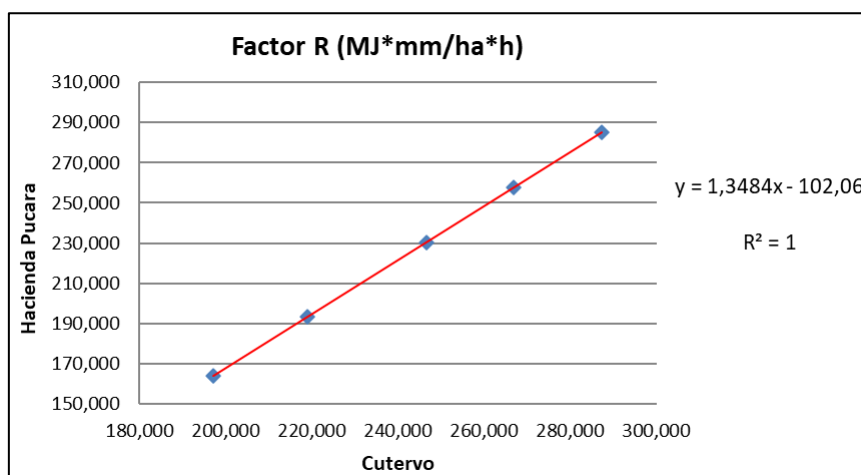
*Valores estimados del factor R de la Pp máxima para la ecuación lineal - Estaciones Cochabamba y Cutervo.*

Tiempo de retorno (TR)	Factor R de la precipitación máxima (MJ·mm/ha·h)		Ecuación Lineal
	Estación		
	Cochabamba (x)	Cutervo (y)	
<b>5</b>	205,044	197,253	197,261
<b>10</b>	235,461	219,028	219,037
<b>25</b>	273,893	246,540	246,550
<b>50</b>	302,404	266,950	266,961
<b>100</b>	330,705	287,209	287,222

Nota. Al emplear la ecuación de regresión lineal se comprueba que los valores obtenidos se aproximan al valor de los datos del factor R de la precipitación máxima de la estación Cutervo.

**Figura 56**

*Ecuación de regresión lineal para las estaciones Cutervo y Hacienda Pucara.*



La ecuación lineal para la relación entre los datos de las estaciones Cutervo y Hacienda Pucara es la siguiente:

$$y = 1,3484x - 102,06 \quad (65)$$

**Tabla 143**

*Valores estimados del factor R de la Pp máxima para la ecuación lineal - Estaciones Cutervo y Hacienda Pucara.*

<b>Factor R de la precipitación máxima (MJ·mm/ha·h)</b>			
<b>Tiempo de retorno (TR)</b>	<b>Estación</b>		<b>Ecuación</b>
	<b>Cutervo (x)</b>	<b>Hacienda Pucara (y)</b>	<b>Lineal</b>
<b>5</b>	197,253	163,922	163,916
<b>10</b>	219,028	193,283	193,277
<b>25</b>	246,540	230,381	230,374
<b>50</b>	266,950	257,902	257,895
<b>100</b>	287,209	285,220	285,213

Nota. Al emplear la ecuación de regresión lineal se comprueba que los valores obtenidos se aproximan al valor de los datos del factor R de la estación Hacienda Pucara.

Del mismo modo, se procede a determinar las ecuaciones que expresan la relación de los datos del factor R de la precipitación máxima para diferentes tiempos de retorno entre las demás estaciones.

**Tabla 144**

*Ecuaciones del factor R de la Pp máxima entre las diferentes estaciones.*

<b>Estación (x)</b>	<b>Estación (y)</b>	<b>Ecuación</b>
Chancay Baños	Chotano Lajas	$y = 0,8954x + 8,411$
Chotano Lajas	Chugur	$y = 2,0035x - 110,99$
Chugur	Cochabamba	$y = 0,629x + 38,545$
Cochabamba	Cutervo	$y = 0,7159x + 50,47$
Cutervo	Hacienda Pucara	$y = 1,3484x - 102,06$
Hacienda Pucara	Llama	$y = 1,0049x + 11,743$
Llama	Quebrada Shugar	$y = 0,5324x + 53,18$
Quebrada Shugar	Querocotillo	$y = 2,6563x - 190,08$

**B. Análisis de relación del factor R de la precipitación máxima vs la altitud.** Para conocer la relación entre estos dos factores se procede a calcular la ecuación de regresión entre el factor R y la altitud para diferentes tiempos de retorno.

**Tabla 145**

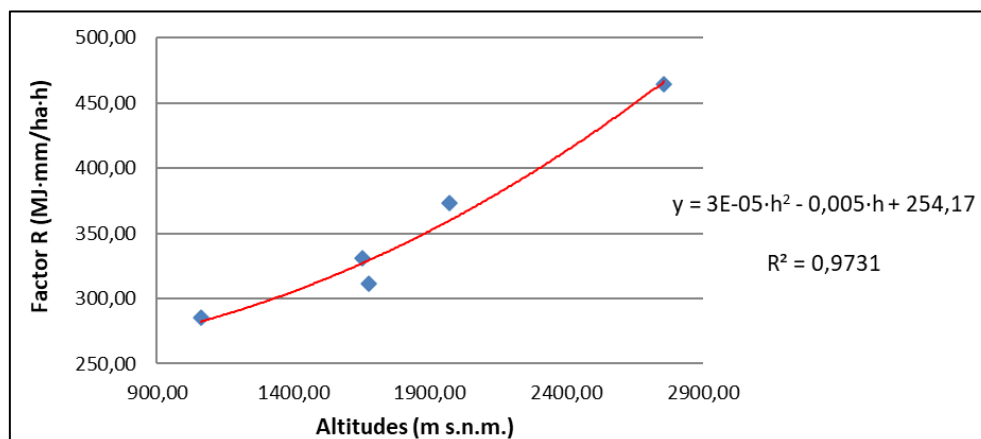
*Factor R de la Pp máxima para diferentes tiempos de retorno.*

Estación	Factor R para diferentes tiempos de retorno (MJ·mm/ha·h)					Altitud (m s.n.m.)
	5	10	25	50	100	
Chancay Baños	200,040	226,998	261,059	286,327	311,409	1 677,0
Chotano Lajas	187,519	211,656	242,153	264,777	287,234	2 163,4
Chugur	264,703	313,061	374,161	419,488	464,481	2 757,0
Cochabamba	205,044	235,461	273,893	302,404	330,705	1 653,0
Cutervo	197,253	219,028	246,540	266,950	287,209	2 668,0
Hacienda Pucara	163,922	193,283	230,381	257,902	285,220	1 061,6
Llama	176,469	205,974	243,254	270,910	298,363	2 096,0
Quebrada Shugar	147,132	162,841	182,689	197,413	212,029	3 292,7
Querocotillo	200,744	242,470	295,192	334,304	373,128	1 970,0

A modo de ejemplo se presenta en la siguiente figura, la ecuación y línea de tendencia para un tiempo de retorno de 100 años, en la cual se descartan los datos con mayor dispersión (Estación Cutervo, Quebrada Shugar, Llama y /o Chotano Lajas).

**Figura 57**

*Factor R de la Pp máxima para un tiempo de retorno de 100 años vs Altitud.*



Del mismo modo, se procede a determinar las ecuaciones que expresan la relación de los datos del factor R de la precipitación máxima vs la altitud para diferentes tiempos de retorno.

**Tabla 146**

*Ecuaciones del factor R de la Pp máxima(y) vs Altitud(h) para diferentes tiempos de retorno.*

Tiempo de retorno	Ecuación	Tiempo de retorno	Ecuación
5 años	$y = 2E-05 \cdot h^2 - 0,0287 \cdot h + 179,19$	50 años	$y = 2E-05 \cdot h^2 + 0,0023 \cdot h + 226,01$
10 años	$y = 1E-05 \cdot h^2 + 0,0195 \cdot h + 159,4$	100 años	$y = 3E-05 \cdot h^2 - 0,005 \cdot h + 254,17$
25 años	$y = 2E-05 \cdot h^2 + 0,0096 \cdot h + 197,64$		

**C. Factor R máximo medio de la subcuenca de estudio para diferentes tiempos de retorno.** Mediante las ecuaciones determinadas en la *Tabla 146* se procede a calcular el factor R de las precipitaciones máximas para diferentes tiempos de retorno en base a las altitudes medias de cada rango de altitud definida en la subcuenca del río Chotano.

Al respecto, se determina el factor R máximo medio para toda la subcuenca de estudio mediante la *ecuación(62)*:

$$FR_{TR} = \frac{\sum(Fri \cdot a)}{A}$$

Donde:

$FR_{TR}$  = Factor R máximo medio de la subcuenca de estudio para un determinado tiempo de retorno (MJ·mm/ha·h)

Fri = Factor R determinado en cada tramo de área (MJ·mm/ha·h)

$a$  = Área contenida entre las curvas de nivel (km<sup>2</sup>)

$A$  = Área total de la subcuenca de estudio (km<sup>2</sup>)

Tabla 147

Factor R máximo medio de la subcuenca de estudio para diferentes tiempos de retorno.

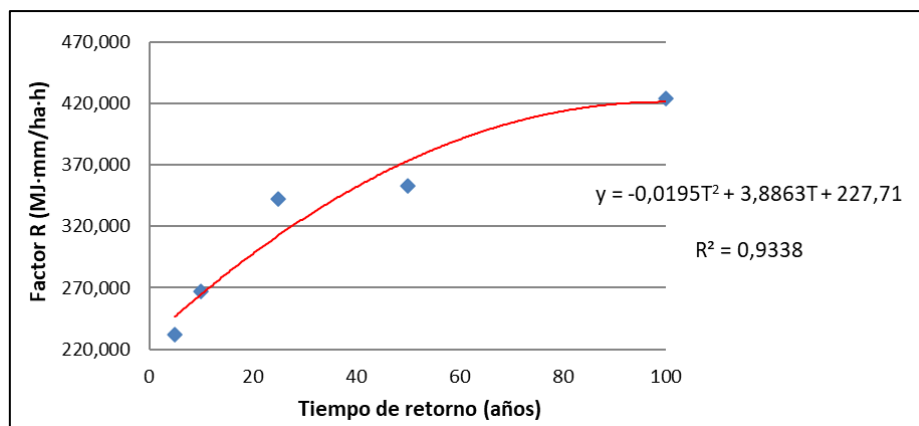
Rango de altitudes (m s.n.m.)	Altitud media (m s.n.m.)	$\alpha$ (km <sup>2</sup> )	Factor R de la Pp máxima en diferentes tiempos de retorno - Fri (MJ·mm/ha·h)				
			TR5	TR10	TR25	TR50	TR100
1000 - 1200	1100	7,76	171,820	192,950	232,400	252,740	284,970
1200 - 1400	1300	23,48	175,680	201,650	243,920	262,800	298,370
1400 - 1600	1500	48,89	181,140	211,150	257,040	274,460	314,170
1600 - 1800	1700	76,70	188,200	221,450	271,760	287,720	332,370
1800 - 2000	1900	97,23	196,860	232,550	288,080	302,580	352,970
2000 - 2200	2100	138,54	207,120	244,450	306,000	319,040	375,970
2200 - 2400	2300	211,10	218,980	257,150	325,520	337,100	401,370
2400 - 2600	2500	164,34	232,440	270,650	346,640	356,760	429,170
2600 - 2800	2700	142,83	247,500	284,950	369,360	378,020	459,370
2800 - 3000	2900	102,29	264,160	300,050	393,680	400,880	491,970
3000 - 3200	3100	61,17	282,420	315,950	419,600	425,340	526,970
3200 - 3400	3300	41,42	302,280	332,650	447,120	451,400	564,370
3400 - 3600	3500	29,27	323,740	350,150	476,240	479,060	604,170
3600 - 3800	3700	22,31	346,800	368,450	506,960	508,320	646,370
<b>Área Total</b>		1 167,33					
<b>Factor R máximo medio de la subcuenca</b>			231,632	267,059	342,226	353,033	424,375

Finalmente, la ecuación que expresa la relación de los datos del factor R máximo medio (y) para toda la subcuenca de estudio en diferentes tiempos de retorno (T) es:

$$y = -0,0196 \cdot T^2 + 2,9811 \cdot T + 68,341 \quad (66)$$

Figura 58

Ecuación del factor R máximo medio de la subcuenca para diferentes tiempos de retorno.



## IV. RESULTADOS

Con el fin de lograr los objetivos planteados al inicio del presente trabajo de investigación, en este capítulo se presentan los resultados sobre la erosión hídrica mediante el método USLE para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.

### 4.1. Factores de la ecuación universal de pérdida de suelo - USLE

#### 4.1.1. Factor de lluvia o índice de erosividad pluvial (*R*)

Para estimar el factor de erosividad de la precipitación en la subcuenca del río Chotano, se utilizaron los datos históricos de 31 años de 9 estaciones meteorológicas tipo convencional basadas en la información proporcionada por la página oficial del Senamhi, mediante la dirección de redes de observación y datos.

Con la *ecuación*(23) del índice modificado de Fournier se calcula el valor del factor de erosividad para 31 años y con el método de Gumbel mencionado en el ítem 2.1.6.2. los valores para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.

**Tabla 148**

*Resultados del factor R de la Pp media para diferentes tiempos de retorno.*

<b>Factor de erosividad R de la precipitación media (MJ·mm/ha·h)</b>					
<b>Estaciones</b>	<b>Factor R en diferentes periodos de retorno</b>				
	<b>5 años</b>	<b>10 años</b>	<b>25 años</b>	<b>50 años</b>	<b>100 años</b>
<b>Chancay Baños</b>	61,307	70,103	81,216	89,461	97,644
<b>Chotano Lajas</b>	57,033	62,808	70,104	75,516	80,889
<b>Chugur</b>	121,733	145,108	174,642	196,552	218,301
<b>Cochabamba</b>	56,594	65,652	77,098	85,588	94,016
<b>Cutervo</b>	64,813	72,231	81,604	88,557	95,458
<b>Hacienda Pucara</b>	54,791	65,447	78,912	88,901	98,817
<b>Llama</b>	103,579	129,039	161,209	185,074	208,763
<b>Quebrada Shugar</b>	58,596	67,219	78,113	86,195	94,218
<b>Querocotillo</b>	57,407	69,255	84,224	95,330	106,353



**Tabla 149**

*Resultados del factor R de la Pp máxima para diferentes tiempos de retorno.*

<b>Factor de erosividad R de la precipitación máxima (MJ·mm/ha·h)</b>					
<b>Estaciones</b>	<b>Factor R en diferentes periodos de retorno</b>				
	<b>5 años</b>	<b>10 años</b>	<b>25 años</b>	<b>50 años</b>	<b>100 años</b>
<b>Chancay Baños</b>	200,040	226,998	261,059	286,327	311,409
<b>Chotano Lajas</b>	187,519	211,656	242,153	264,777	287,234
<b>Chugur</b>	264,703	313,061	374,161	419,488	464,481
<b>Cochabamba</b>	205,044	235,461	273,893	302,404	330,705
<b>Cutervo</b>	197,253	219,028	246,540	266,950	287,209
<b>Hacienda Pucara</b>	163,922	193,283	230,381	257,902	285,220
<b>Llama</b>	176,469	205,974	243,254	270,910	298,363
<b>Quebrada Shugar</b>	147,132	162,841	182,689	197,413	212,029
<b>Querocotillo</b>	200,744	242,470	295,192	334,304	373,128

Con los datos del factor de erosividad para las precipitaciones determinadas para cada estación, se procede a realizar la interpolación mediante la herramienta “*Spline*” del *software ArcGis*; con la finalidad de obtener un mapa isoerodante para cada tiempo de retorno.

#### **4.1.2. Factor de erodabilidad (K)**

Para determinar el factor de erodabilidad de suelos en la subcuenca del río Chotano, se utilizan las tablas mencionadas en el ítem 2.1.8.2. del marco teórico y de acuerdo a la descripción de su clasificación taxonómica realizada por el Gobierno Regional de Cajamarca, que está basada en la interpretación de sus características morfológicas, físico-químicas y biológicas.

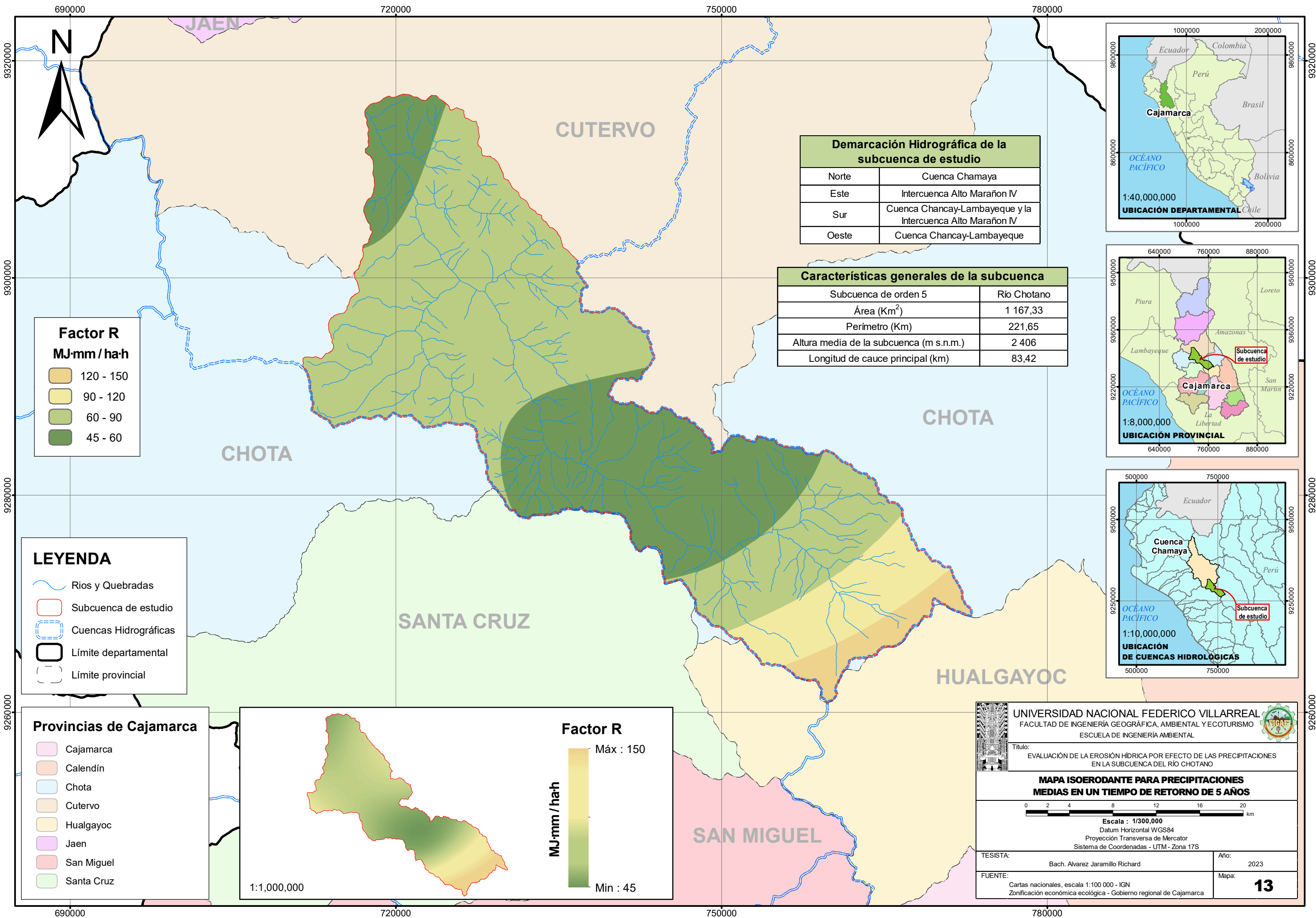
Al respecto, el Gobierno Regional de Cajamarca en el año 2011 realiza el estudio de suelos de acuerdo con el Reglamento para la Ejecución de Levantamiento de Suelos del Perú, Decreto Supremo N° 033-85-AG, el cual refiere las normas y metodologías que deben aplicarse; asimismo, la clasificación taxonómica se realiza de acuerdo al Sistema de Clasificación *Soil Taxonomy* décima edición del 2006, correlacionado con la leyenda del mapa de suelos del mundo de la FAO del mismo año.

Cabe precisar que, para el caso de las asociaciones, al ser la agrupación de dos tipos (orden) de suelo, se considera el factor K de mayor valor existente entre ambas clasificaciones debido a que la presente investigación está orientada a la determinación de erosión máxima para valores de precipitación en tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.

**Tabla 150**

*Resultados del factor de erodabilidad K para las estaciones de la subcuenca de estudio.*

<b>Factor de erodabilidad K (Ton/ha)/( MJ·mm/ha·h)</b>				
<b>Estaciones</b>	<b>Consociación / Asociación</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Textura</b>	<b>Factor K</b>
<b>Chancay Baños</b>	Leptosol	L	Ligera a media	0,02
<b>Chotano Lajas</b>	Paramosol - Leptosol	PS - L	Media	0,04
<b>Chugur</b>	Paramo andosol	PA	Media	0,04
<b>Cochabamba</b>	Fluvisol - Phaeozem	J - H	Moderadamente fina	0,013
<b>Cutervo</b>	Cambisol - Leptosol	B - L	Ligera a media	0,04
<b>Hacienda Pucara</b>	Regosol - Xerosol	R - X	Ligera a media	0,079
<b>Llama</b>	Andosol - Regosol	T - R	Media	0,04
<b>Quebrada Shugar</b>	Phaeozem - Leptosol	H - L	Media a pesada	0,02
<b>Querocotillo</b>	Andosol	T	Media	0,04



**Factor R**  
MJ-mm / ha·h

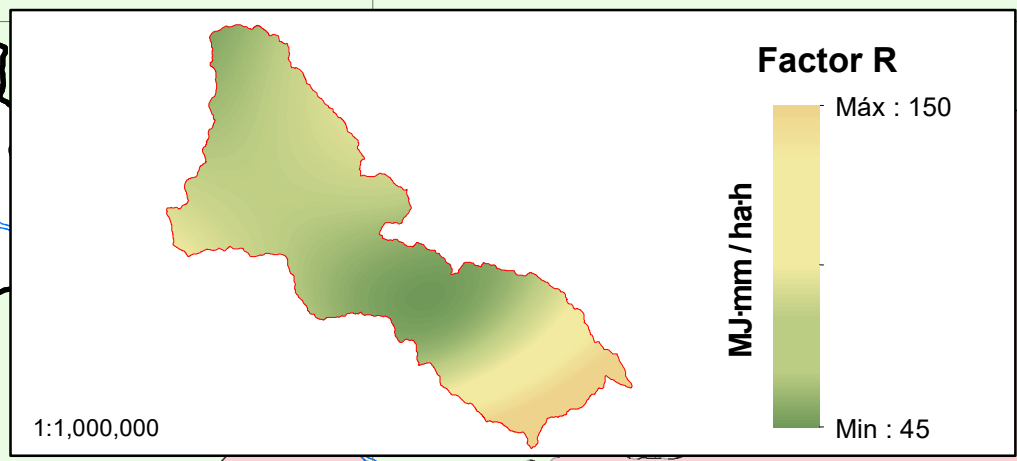
120 - 150
90 - 120
60 - 90
45 - 60

**LEYENDA**

- Rios y Quebradas
- Subcuenca de estudio
- Cuencas Hidrográficas
- Límite departamental
- Límite provincial

**Provincias de Cajamarca**

- Cajamarca
- Calendín
- Chota
- Cutervo
- Hualgayoc
- Jaen
- San Miguel
- Santa Cruz

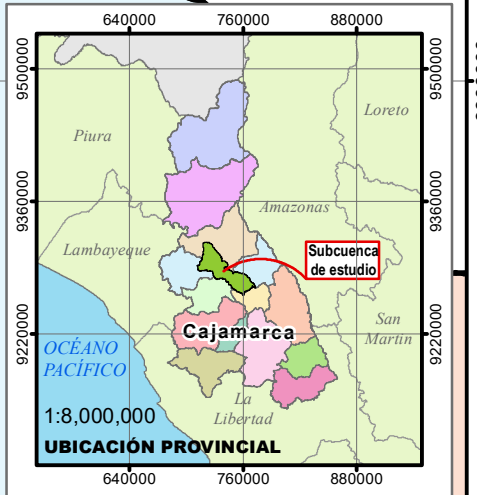


**Demarcación Hidrográfica de la subcuenca de estudio**

Norte	Cuenca Chamaya
Este	Intercuenca Alto Marañón IV
Sur	Cuenca Chancay-Lambayeque y la Intercuenca Alto Marañón IV
Oeste	Cuenca Chancay-Lambayeque

**Características generales de la subcuenca**

Subcuenca de orden 5	Río Chotano
Área (Km <sup>2</sup> )	1 167,33
Perímetro (Km)	221,65
Altura media de la subcuenca (m s.n.m.)	2 406
Longitud de cauce principal (km)	83,42



**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

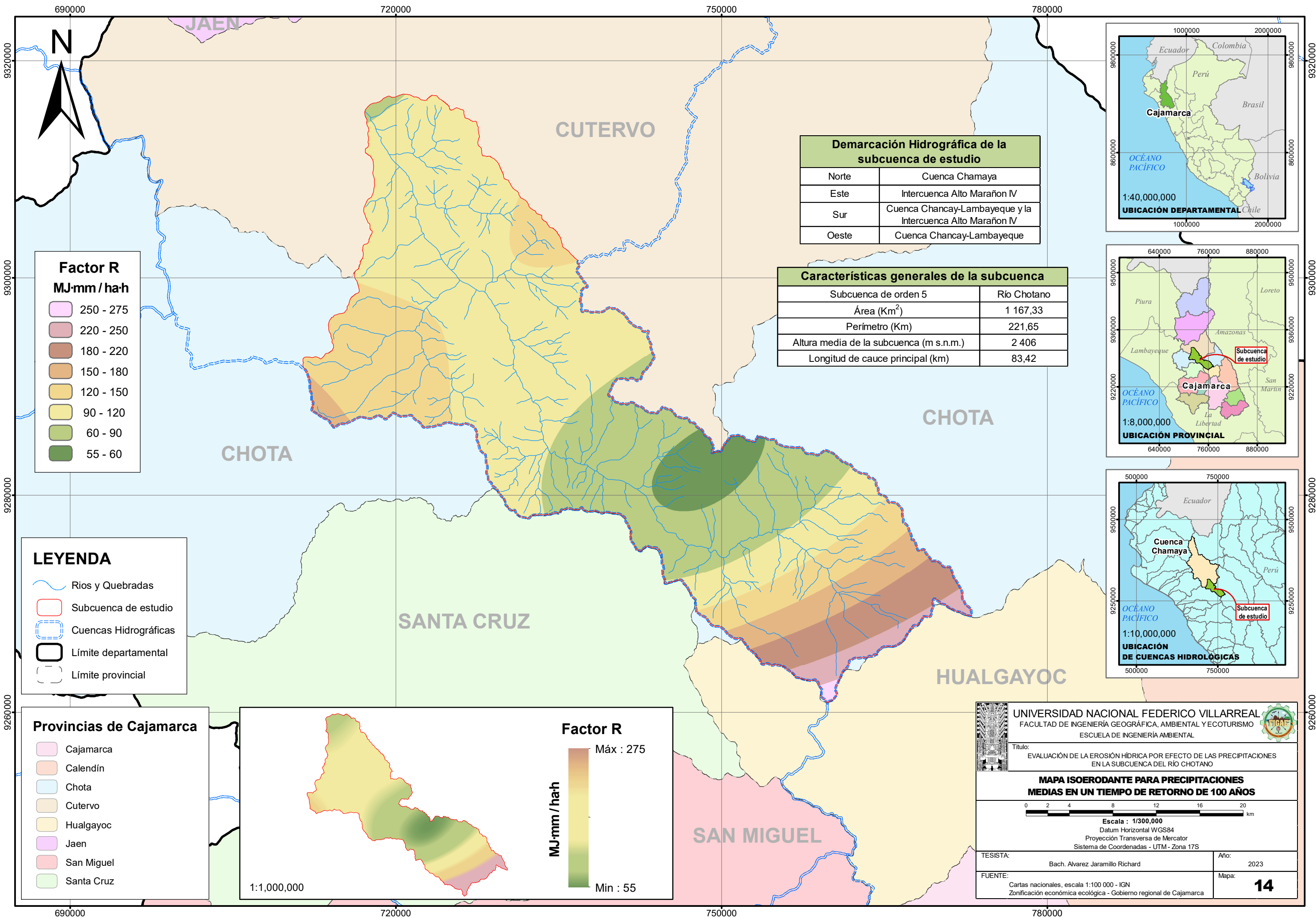
Título:  
EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR EFECTO DE LAS PRECIPITACIONES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHOTANO

**MAPA ISOERODANTE PARA PRECIPITACIONES MEDIAS EN UN TIEMPO DE RETORNO DE 5 AÑOS**

0 2 4 8 12 16 20 km

Escala : 1/300,000  
Datum Horizontal WGS84  
Proyección Transversa de Mercator  
Sistema de Coordenadas - UTM - Zona 17S

TESISTA: Bach. Alvarez Jaramillo Richard	Año: 2023
FUENTE: Cartas nacionales, escala 1:100 000 - IGN Zonificación económica ecológica - Gobierno regional de Cajamarca	Mapa: <b>13</b>



**Factor R**  
MJ-mm / ha·h

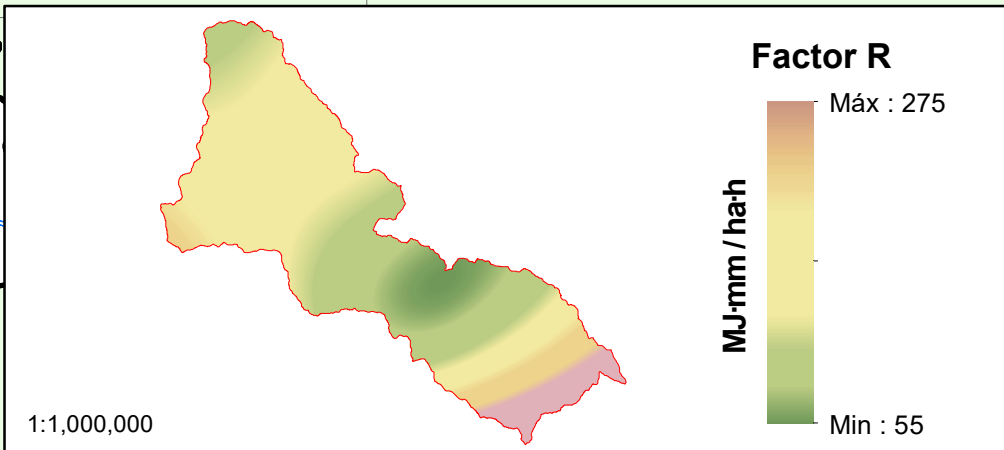
250 - 275
220 - 250
180 - 220
150 - 180
120 - 150
90 - 120
60 - 90
55 - 60

**LEYENDA**

- Rios y Quebradas
- Subcuenca de estudio
- Cuencas Hidrográficas
- Límite departamental
- Límite provincial

**Provincias de Cajamarca**

- Cajamarca
- Calendín
- Chota
- Cutervo
- Hualgayoc
- Jaen
- San Miguel
- Santa Cruz



**Demarcación Hidrográfica de la subcuenca de estudio**

Norte	Cuenca Chamaya
Este	Intercuenca Alto Marañón IV
Sur	Cuenca Chancay-Lambayeque y la Intercuenca Alto Marañón IV
Oeste	Cuenca Chancay-Lambayeque

**Características generales de la subcuenca**

Subcuenca de orden 5	Río Chotano
Área (Km <sup>2</sup> )	1 167,33
Perímetro (Km)	221,65
Altura media de la subcuenca (m s.n.m.)	2 406
Longitud de cauce principal (km)	83,42



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Título:  
EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR EFECTO DE LAS PRECIPITACIONES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHOTANO

**MAPA ISOERODANTE PARA PRECIPITACIONES MEDIAS EN UN TIEMPO DE RETORNO DE 100 AÑOS**

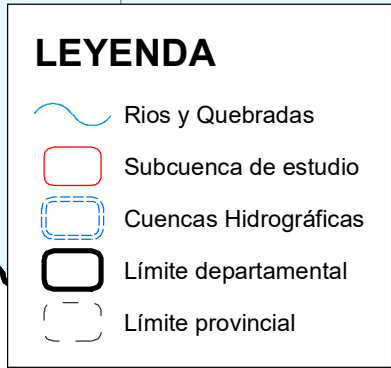
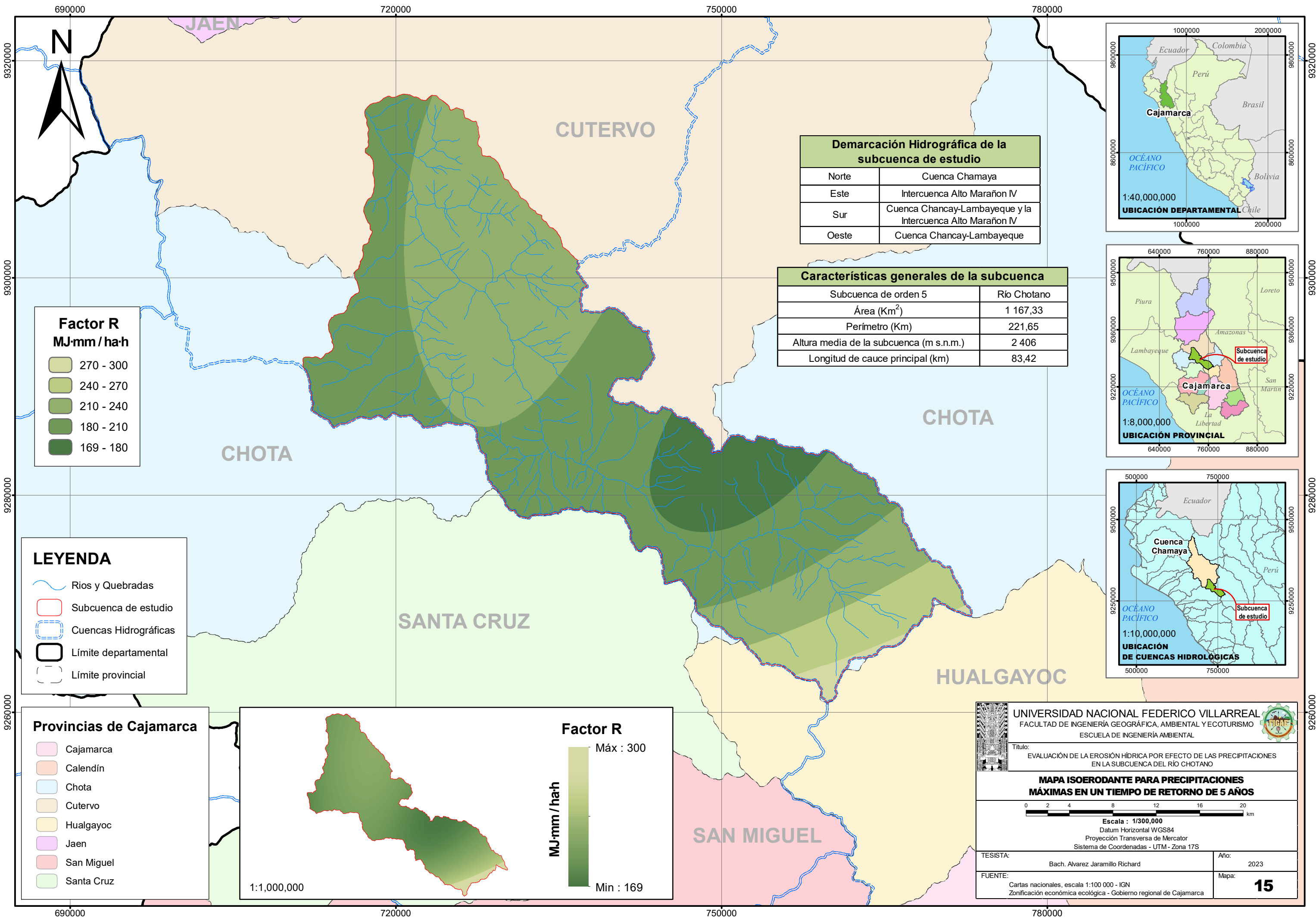
0 2 4 8 12 16 20 km

Escala : 1/300,000  
Datum Horizontal WGS84  
Proyección Transversa de Mercator  
Sistema de Coordenadas - UTM - Zona 17S

TESISTA: Bach. Alvarez Jaramillo Richard Año: 2023

FUENTE: Cartas nacionales, escala 1:100 000 - IGN  
Zonificación económica ecológica - Gobierno regional de Cajamarca

Mapa: **14**

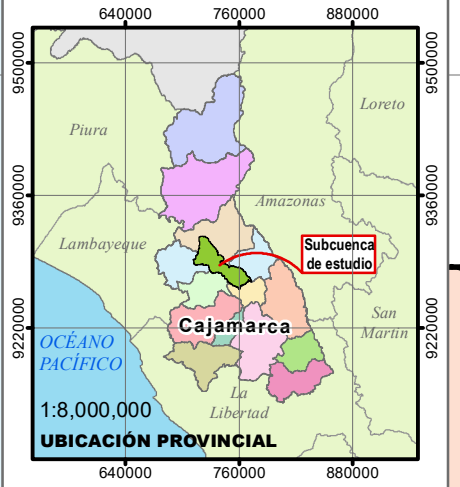


**Demarcación Hidrográfica de la subcuenca de estudio**

Norte	Cuenca Chamaya
Este	Intercuenca Alto Marañón IV
Sur	Cuenca Chancay-Lambayeque y la Intercuenca Alto Marañón IV
Oeste	Cuenca Chancay-Lambayeque

**Características generales de la subcuenca**

Subcuenca de orden 5	Río Chotano
Área (Km <sup>2</sup> )	1 167,33
Perímetro (Km)	221,65
Altura media de la subcuenca (m s.n.m.)	2 406
Longitud de cauce principal (km)	83,42



**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Título:  
EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR EFECTO DE LAS PRECIPITACIONES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHOTANO

**MAPA ISOERODANTE PARA PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN UN TIEMPO DE RETORNO DE 5 AÑOS**

0 2 4 8 12 16 20 km

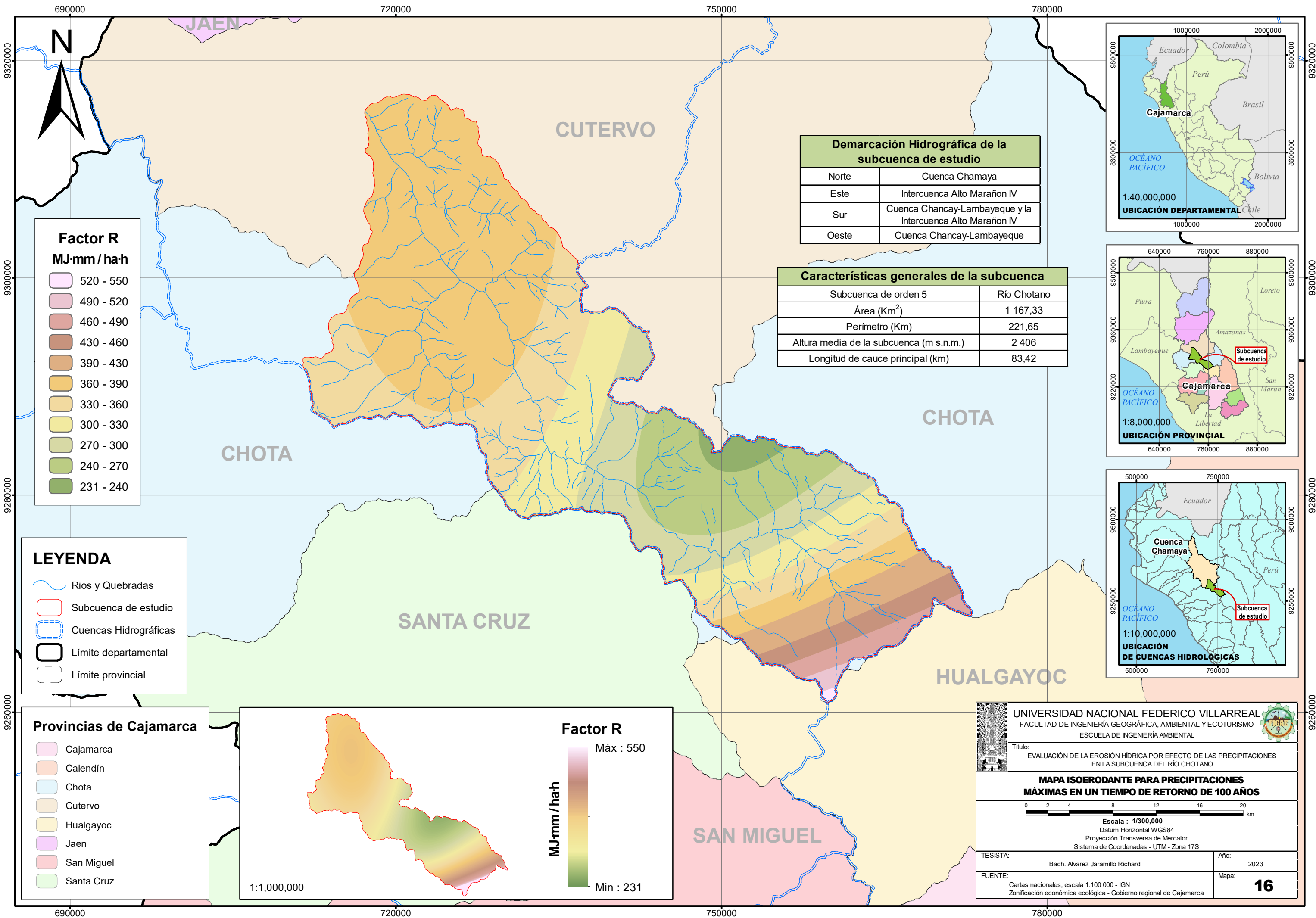
Escala : 1/300,000  
Datum Horizontal WGS84  
Proyección Transversa de Mercator  
Sistema de Coordenadas - UTM - Zona 17S

TESISTA: Bach. Alvarez Jaramillo Richard Año: 2023

FUENTE: Cartas nacionales, escala 1:100 000 - IGN  
Zonificación económica ecológica - Gobierno regional de Cajamarca

Mapa: **15**





**Factor R**  
MJ-mm / ha·h

520 - 550
490 - 520
460 - 490
430 - 460
390 - 430
360 - 390
330 - 360
300 - 330
270 - 300
240 - 270
231 - 240

**LEYENDA**

- Rios y Quebradas
- Subcuenca de estudio
- Cuencas Hidrográficas
- Límite departamental
- Límite provincial

**Provincias de Cajamarca**

- Cajamarca
- Calendín
- Chota
- Cutervo
- Hualgayoc
- Jaen
- San Miguel
- Santa Cruz

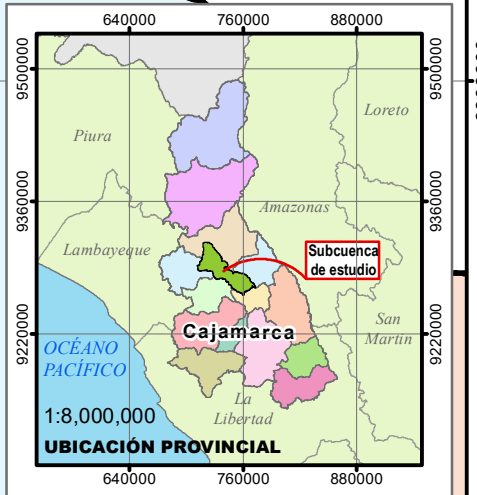


**Demarcación Hidrográfica de la subcuenca de estudio**

Norte	Cuenca Chamaya
Este	Intercuenca Alto Marañón IV
Sur	Cuenca Chancay-Lambayeque y la Intercuenca Alto Marañón IV
Oeste	Cuenca Chancay-Lambayeque

**Características generales de la subcuenca**

Subcuenca de orden 5	Río Chotano
Área (Km <sup>2</sup> )	1 167,33
Perímetro (Km)	221,65
Altura media de la subcuenca (m s.n.m.)	2 406
Longitud de cauce principal (km)	83,42



**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Título:  
EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR EFECTO DE LAS PRECIPITACIONES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHOTANO

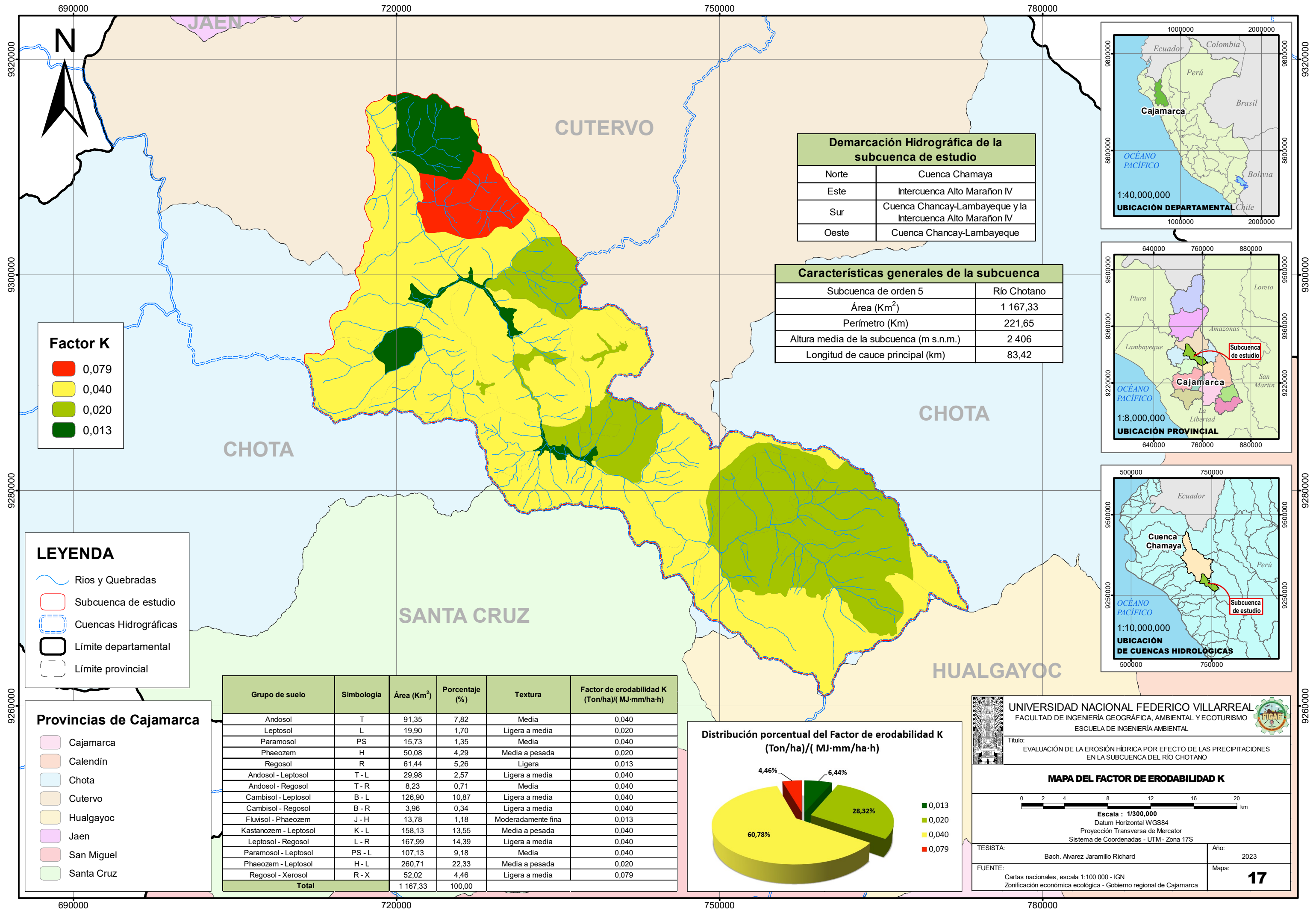
**MAPA ISOERODANTE PARA PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN UN TIEMPO DE RETORNO DE 100 AÑOS**

0 2 4 8 12 16 20 km

Escala : 1/300,000  
Datum Horizontal WGS84  
Proyección Transversa de Mercator  
Sistema de Coordenadas - UTM - Zona 17S

TESISTA: Bach. Alvarez Jaramillo Richard Año: 2023

FUENTE: Cartas nacionales, escala 1:100 000 - IGN  
Zonificación económica ecológica - Gobierno regional de Cajamarca Mapa: **16**



**Factor K**

0,079
0,040
0,020
0,013

**LEYENDA**

- Rios y Quebradas
- Subcuenca de estudio
- Cuencas Hidrográficas
- Límite departamental
- Límite provincial

**Provincias de Cajamarca**

- Cajamarca
- Calendín
- Chota
- Cutervo
- Hualgayoc
- Jaen
- San Miguel
- Santa Cruz

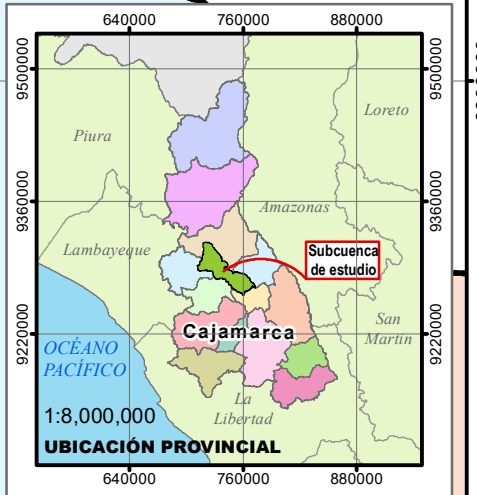
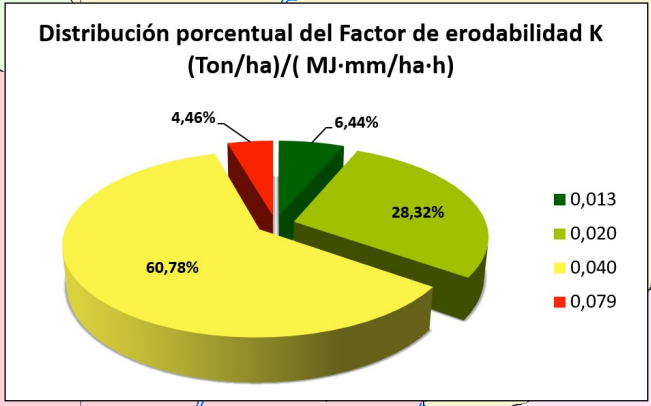
Grupo de suelo	Simbología	Área (Km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)	Textura	Factor de erodabilidad K (Ton/ha)/( MJ·mm/ha·h)
Andosol	T	91,35	7,82	Media	0,040
Leptosol	L	19,90	1,70	Ligera a media	0,020
Paramosol	PS	15,73	1,35	Media	0,040
Phaeozem	H	50,08	4,29	Media a pesada	0,020
Regosol	R	61,44	5,26	Ligera	0,013
Andosol - Leptosol	T - L	29,98	2,57	Ligera a media	0,040
Andosol - Regosol	T - R	8,23	0,71	Media	0,040
Cambisol - Leptosol	B - L	126,90	10,87	Ligera a media	0,040
Cambisol - Regosol	B - R	3,96	0,34	Ligera a media	0,040
Fluvisol - Phaeozem	J - H	13,78	1,18	Moderadamente fina	0,013
Kastanozem - Leptosol	K - L	158,13	13,55	Media a pesada	0,040
Leptosol - Regosol	L - R	167,99	14,39	Ligera a media	0,040
Paramosol - Leptosol	PS - L	107,13	9,18	Media	0,040
Phaeozem - Leptosol	H - L	260,71	22,33	Media a pesada	0,020
Regosol - Xerosol	R - X	52,02	4,46	Ligera a media	0,079
<b>Total</b>		<b>1 167,33</b>	<b>100,00</b>		

**Demarcación Hidrográfica de la subcuenca de estudio**

Norte	Cuenca Chamaya
Este	Intercuenca Alto Marañón IV
Sur	Cuenca Chancay-Lambayeque y la Intercuenca Alto Marañón IV
Oeste	Cuenca Chancay-Lambayeque

**Características generales de la subcuenca**

Subcuenca de orden 5	Río Chotano
Área (Km <sup>2</sup> )	1 167,33
Perímetro (Km)	221,65
Altura media de la subcuenca (m s.n.m.)	2 406
Longitud de cauce principal (km)	83,42



**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Título:  
 EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR EFECTO DE LAS PRECIPITACIONES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHOTANO

**MAPA DEL FACTOR DE ERODABILIDAD K**

Escala : 1/300,000  
 Datum Horizontal WGS84  
 Proyección Transversa de Mercator  
 Sistema de Coordenadas - UTM - Zona 17S

TESISTA: Bach. Alvarez Jaramillo Richard Año: 2023

FUENTE: Cartas nacionales, escala 1:100 000 - IGN  
 Zonificación económica ecológica - Gobierno regional de Cajamarca

Mapa: **17**

**Tabla 151**

*Resultados del Factor de erodabilidad K para la subcuenca de estudio.*

<b>Factor de erodabilidad K (Ton/ha)/( MJ·mm/ha·h)</b>					
<b>Consociación / Asociación</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	<b>Textura</b>	<b>Factor K</b>
<b>Andosol</b>	T	91,35	7,82	Media	0,040
<b>Leptosol</b>	L	19,90	1,70	Ligera a media	0,020
<b>Paramosol</b>	PS	15,73	1,35	Media	0,040
<b>Phaeozem</b>	H	50,08	4,29	Media a pesada	0,020
<b>Regosol</b>	R	61,44	5,26	Ligera	0,013
<b>Andosol - Leptosol</b>	T - L	29,98	2,57	Ligera a media	0,040
<b>Andosol - Regosol</b>	T - R	8,23	0,71	Media	0,040
<b>Cambisol - Leptosol</b>	B - L	126,90	10,87	Ligera a media	0,040
<b>Cambisol - Regosol</b>	B - R	3,96	0,34	Ligera a media	0,040
<b>Fluvisol - Phaeozem</b>	J - H	13,78	1,18	Moderadamente fina	0,013
<b>Kastanozem - Leptosol</b>	K - L	158,13	13,55	Media a pesada	0,040
<b>Leptosol - Regosol</b>	L - R	167,99	14,39	Ligera a media	0,040
<b>Paramosol - Leptosol</b>	PS - L	107,13	9,18	Media	0,040
<b>Phaeozem - Leptosol</b>	H - L	260,71	22,33	Media a pesada	0,020
<b>Regosol - Xerosol</b>	R - X	52,02	4,46	Ligera a media	0,079
<b>Total</b>		1 167,33	100,00		

#### **4.1.3. Factor topográfico (LS)**

Para determinar el factor topográfico de suelos en la subcuenca del río Chotano, se utilizan los valores mencionados en el ítem 2.1.8.3. del marco teórico de acuerdo a la clasificación de los rangos de pendiente realizada por el Gobierno Regional de Cajamarca; asimismo, para aquellos rangos que abarcaban diversos valores, se calcula su promedio para determinar el factor LS que corresponde a cada área.

Al respecto, el Gobierno Regional de Cajamarca en el año 2011 realiza el estudio y mapa de pendientes de los suelos, conforme a lo que estipula la directiva metodológica de la ZEE del Decreto de Consejo N° 010-2006-CONAM/CD, mediante la elaboración del modelo



digital de elevación (DEM) con las curvas de nivel del IGN a una equidistancia de 50 m y con el uso de la interpretación de imágenes satelitales; asimismo, realiza la clasificación de los rangos de pendiente tomando como referencia lo establecido en el Reglamento de Clasificación de Tierras D.S. N° 017-2009-AG.

**Tabla 152**

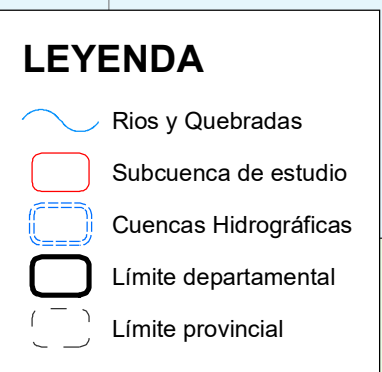
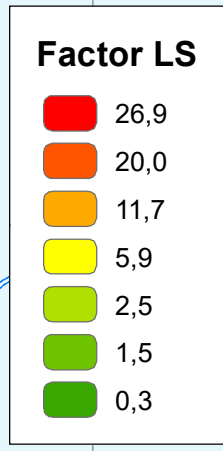
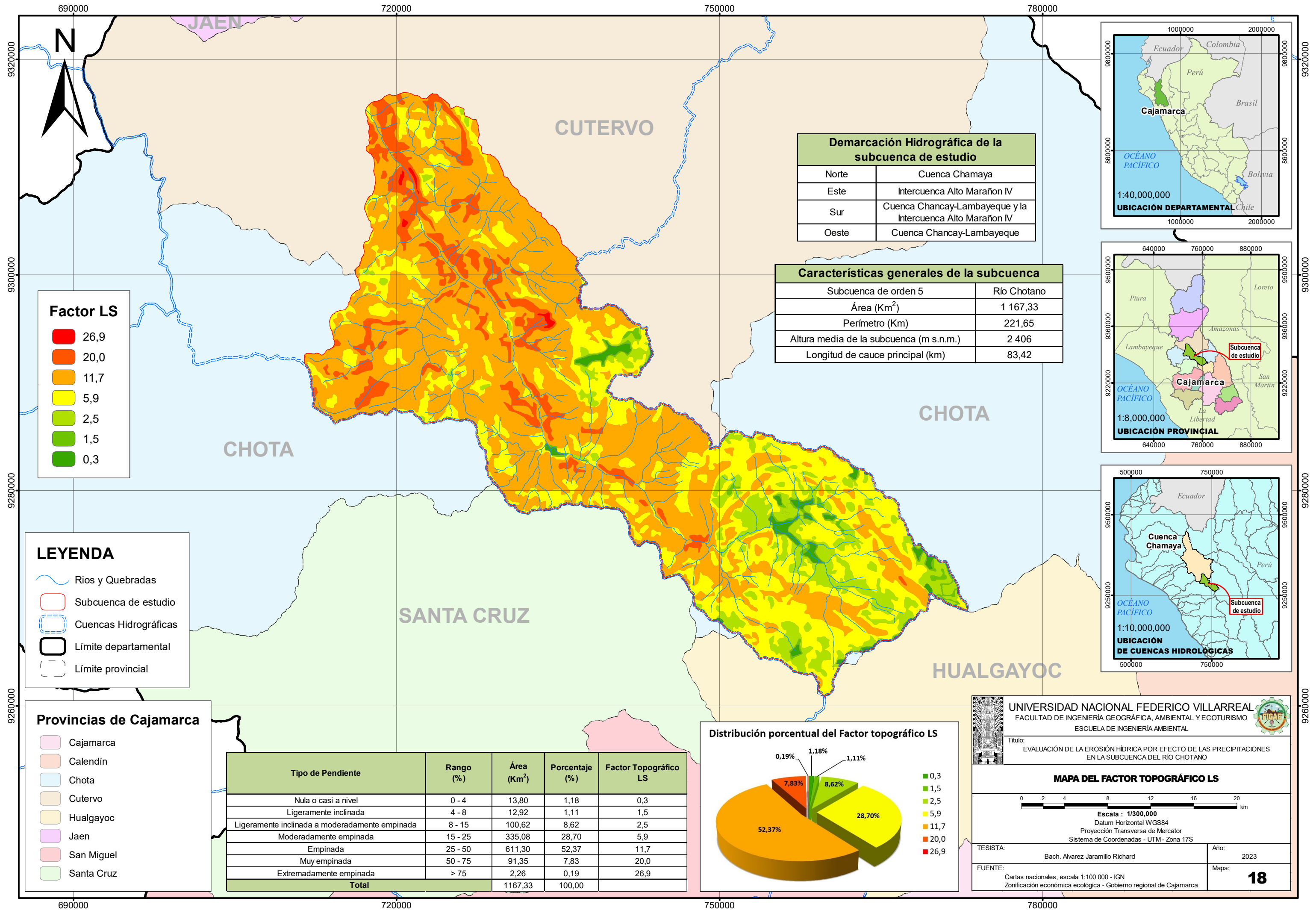
*Resultados del factor topográfico LS para las estaciones de la subcuenca de estudio.*

<b>Factor topográfico LS</b>			
<b>Estaciones</b>	<b>Rangos de pendiente (%)</b>	<b>Descripción</b>	<b>Factor LS</b>
<b>Chancay Baños</b>	8 - 15	Ligeramente inclinada a moderadamente empinada	2,5
<b>Chotano Lajas</b>	25 - 50	Empinada	11,7
<b>Chugur</b>	8 - 15	Ligeramente inclinada a moderadamente empinada	2,5
<b>Cochabamba</b>	25 - 50	Empinada	11,7
<b>Cutervo</b>	15 - 25	Moderadamente empinada	5,9
<b>Hacienda Pucara</b>	25 - 50	Empinada	11,7
<b>Llama</b>	15 - 25	Moderadamente empinada	5,9
<b>Quebrada Shugar</b>	25 - 50	Empinada	11,7
<b>Querocotillo</b>	15 - 25	Moderadamente empinada	5,9

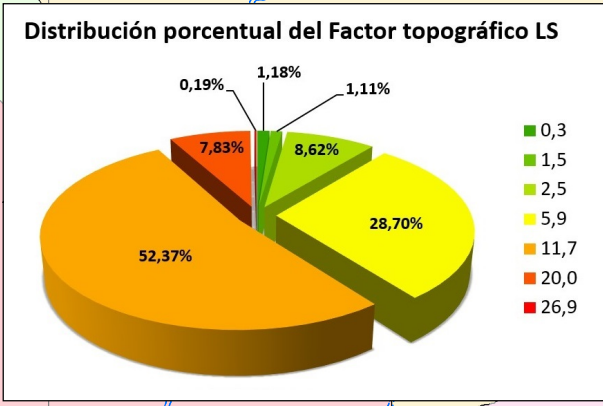
**Tabla 153**

*Resultados del factor topográfico LS para la subcuenca de estudio.*

<b>Factor topográfico LS</b>					
<b>Rangos de pendiente (%)</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	<b>Factor LS (Dentro del rango)</b>	<b>Factor LS (Promedio)</b>	<b>Factor LS</b>
<b>0 - 4</b>	13,80	1,18	0,3	-	0,3
<b>4 - 8</b>	12,92	1,11	1,5	-	1,5
<b>8 - 15</b>	100,62	8,62	-	2,5	2,5
<b>15 - 25</b>	335,08	28,70	-	5,9	5,9
<b>25 - 50</b>	611,30	52,37	-	11,7	11,7
<b>50 - 75</b>	91,35	7,83	-	20,0	20,0
<b>&gt; 75</b>	2,26	0,19	-	26,9	26,9
<b>Total</b>	1 167,33	100,00			



Tipo de Pendiente	Rango (%)	Área (Km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)	Factor Topográfico LS
Nula o casi a nivel	0 - 4	13,80	1,18	0,3
Ligeramente inclinada	4 - 8	12,92	1,11	1,5
Ligeramente inclinada a moderadamente empinada	8 - 15	100,62	8,62	2,5
Moderadamente empinada	15 - 25	335,08	28,70	5,9
Empinada	25 - 50	611,30	52,37	11,7
Muy empinada	50 - 75	91,35	7,83	20,0
Extremadamente empinada	> 75	2,26	0,19	26,9
<b>Total</b>		<b>1167,33</b>	<b>100,00</b>	

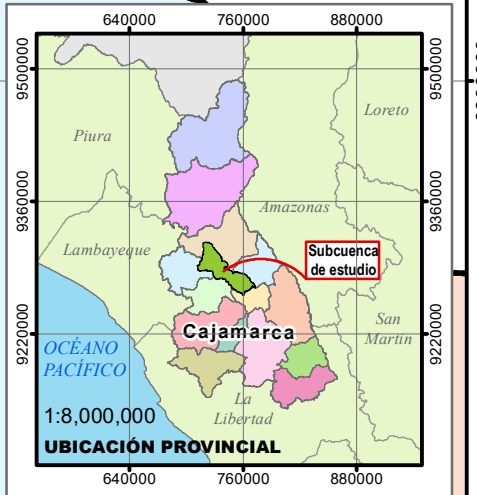


### Demarcación Hidrográfica de la subcuenca de estudio

Norte	Cuenca Chamaya
Este	Intercuenca Alto Marañón IV
Sur	Cuenca Chancay-Lambayeque y la Intercuenca Alto Marañón IV
Oeste	Cuenca Chancay-Lambayeque

### Características generales de la subcuenca

Subcuenca de orden 5	Río Chotano
Área (Km <sup>2</sup> )	1 167,33
Perímetro (Km)	221,65
Altura media de la subcuenca (m s.n.m.)	2 406
Longitud de cauce principal (km)	83,42



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Título:  
 EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR EFECTO DE LAS PRECIPITACIONES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHOTANO

### MAPA DEL FACTOR TOPOGRÁFICO LS

Escala : 1/300,000  
 Datum Horizontal WGS84  
 Proyección Transversa de Mercator  
 Sistema de Coordenadas - UTM - Zona 17S

TESISTA: Bach. Alvarez Jaramillo Richard      Año: 2023

FUENTE: Cartas nacionales, escala 1:100 000 - IGN  
 Zonificación económica ecológica - Gobierno regional de Cajamarca      Mapa: **18**

#### **4.1.4. Factor de cobertura vegetal (C)**

Para determinar el factor de cobertura vegetal en la subcuenca del río Chotano se utilizan las tablas mencionadas en el ítem 2.1.8.4. del marco teórico y de acuerdo a las descripciones de su clasificación realizada por el Gobierno Regional de Cajamarca, que está basada en la interpretación de sus características, como categorías puras y asociaciones de coberturas presentes en la subcuenca de estudio.

Al respecto, el Gobierno Regional de Cajamarca realiza el estudio y mapa de la cobertura vegetal mediante el apoyo de las imágenes satelitales del Google Earth-Pro y la interpretación de imágenes de satélite LANDSAT TM con resolución espacial de 30 m considerando elementos como relieve, vegetación y variaciones en las tonalidades de color sobre las respectivas imágenes - espectro visible RGB.

Asimismo, el Gobierno Regional de Cajamarca, toma como base la clasificación propuesta por la Unión Geográfica Internacional - UGI, para realizar un mapa de cobertura vegetal, un mapa de vegetación natural y un mapa de deforestación, donde presentan clasificaciones similares, por tal motivo se procede a realizar una comparación de las coberturas presentes en los mapas mencionados para determinar el valor del factor C que corresponde a cada área de estudio, considerando el mayor valor existente entre las clasificaciones debido a que la presente investigación está orientada a la erosión máxima para valores de precipitación en tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.

**Tabla 154**

Resultados del factor de cobertura vegetal C para las estaciones de la subcuenca de estudio.

Factor de cobertura vegetal C							
Estaciones	Simbología por mapa			Factor C (para cada mapa)			Factor C
	MCV	MVN	MDF	MCV	MVN	MDF	
Chancay Baños	CA - VA	OC	BS - A	0,250	-	0,250	0,250
Chotano Lajas	VE - CA	OC	BS - A	0,250	-	0,250	0,250
Chugur	CA - PC	OC	A	0,250	-	0,250	0,250
Cochabamba	VE - CA	OC	BS - A	0,250	-	0,250	0,250
Cutervo	M	OC	A	0,250	-	0,250	0,250
Hacienda Pucara	BS	BS	B	0,041	0,041	-	0,041
Llama	CA - VA	OC	BS - A	0,250	-	0,250	0,250
Quebrada Shugar	CA - VA	OC	BS - A	0,250	-	0,250	0,250
Querocotillo	CA	OC	A	0,250	-	0,250	0,250

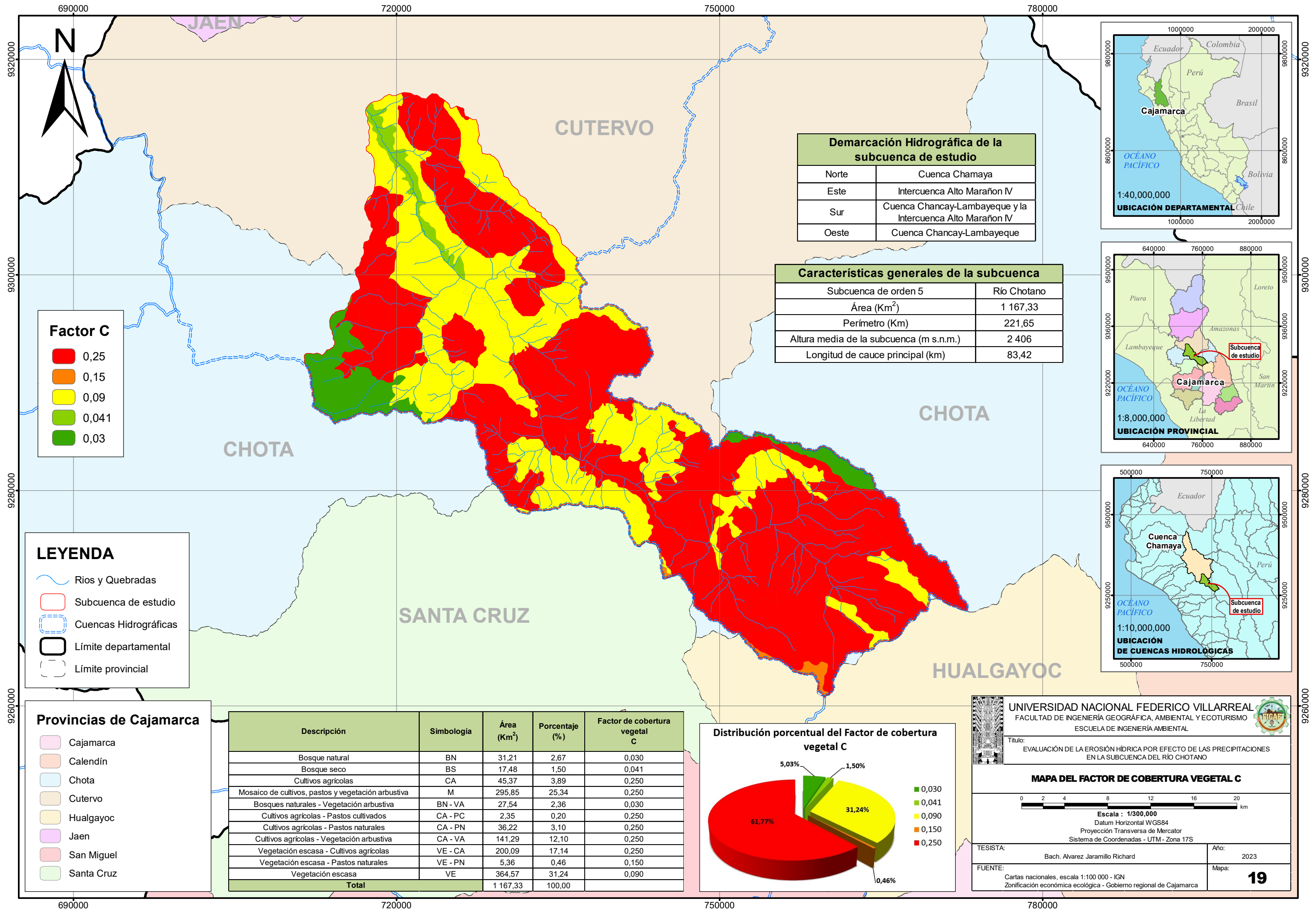
Nota. La descripción de la simbología por cada mapa se detalla en la *Tabla 156*.

**Tabla 155**

Resultados del factor de cobertura vegetal C para la subcuenca de estudio.

Factor de cobertura vegetal C								
Simbología por mapa			Área (Km <sup>2</sup> )	(%)	Factor C (para cada mapa)			Factor C
MCV	MVN	MDF			MCV	MVN	MDF	
BN	BN	B	31,21	2,67	0,030	-	-	0,030
BS	BS	B	17,48	1,50	0,041	0,041	-	0,041
CA	OC	A	45,37	3,89	0,250	-	0,250	0,250
M	OC	A	295,85	25,34	0,250	-	0,250	0,250
VA	VA	VE	68,92	5,91	0,080	0,080	0,090	0,090
VE	VE	VE	47,98	4,11	0,090	0,090	0,090	0,090
BN - VA	BN - VA	B	27,54	2,36	0,030	0,030	-	0,030
CA - PC	OC	A	2,35	0,20	0,250	-	0,250	0,250
CA - PN	OC	A	36,22	3,10	0,250	-	0,250	0,250
CA - VA	OC	BS - A	141,29	12,10	0,250	-	0,250	0,250
VE - CA	OC	BS - A	200,09	17,14	0,250	-	0,250	0,250
VE - PN	VE - PN	PJ	1,63	0,14	0,150	0,150	0,150	0,150
VE - PN	PN	PJ	3,73	0,32	0,150	0,150	0,150	0,150
VE - VA	VE - VA	VE	247,67	21,22	0,080	0,080	0,090	0,090
<b>Total</b>			1 167,33	100,00				

Nota. La descripción de la simbología por cada mapa se detalla en la *Tabla 156*.



**Demarcación Hidrográfica de la subcuenca de estudio**

Norte	Cuenca Chamaya
Este	Intercuenca Alto Marañón IV
Sur	Cuenca Chancay-Lambayeque y la Intercuenca Alto Marañón IV
Oeste	Cuenca Chancay-Lambayeque

**Características generales de la subcuenca**

Subcuenca de orden 5	Río Chotano
Área (Km <sup>2</sup> )	1 167,33
Perímetro (Km)	221,65
Altura media de la subcuenca (m s.n.m.)	2 406
Longitud de cauce principal (km)	83,42

**Factor C**

0,25	0,15	0,09	0,041	0,03
------	------	------	-------	------

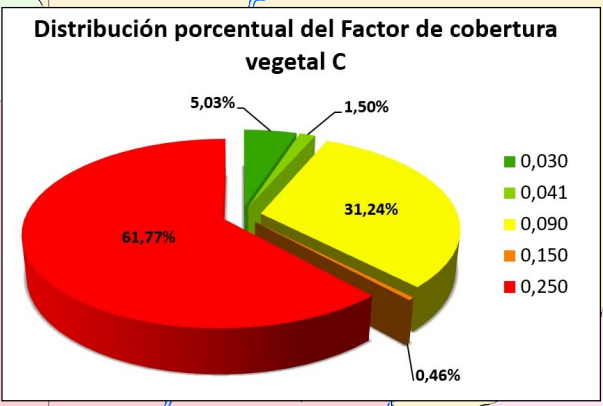
**LEYENDA**

- Rios y Quebradas
- Subcuenca de estudio
- Cuencas Hidrográficas
- Límite departamental
- Límite provincial

**Provincias de Cajamarca**

- Cajamarca
- Calendín
- Chota
- Cutervo
- Hualgayoc
- Jaen
- San Miguel
- Santa Cruz

Descripción	Simbología	Área (Km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)	Factor de cobertura vegetal C
Bosque natural	BN	31,21	2,67	0,030
Bosque seco	BS	17,48	1,50	0,041
Cultivos agrícolas	CA	45,37	3,89	0,250
Mosaico de cultivos, pastos y vegetación arbustiva	M	295,85	25,34	0,250
Bosques naturales - Vegetación arbustiva	BN - VA	27,54	2,36	0,030
Cultivos agrícolas - Pastos cultivados	CA - PC	2,35	0,20	0,250
Cultivos agrícolas - Pastos naturales	CA - PN	36,22	3,10	0,250
Cultivos agrícolas - Vegetación arbustiva	CA - VA	141,29	12,10	0,250
Vegetación escasa - Cultivos agrícolas	VE - CA	200,09	17,14	0,250
Vegetación escasa - Pastos naturales	VE - PN	5,36	0,46	0,150
Vegetación escasa	VE	364,57	31,24	0,090
<b>Total</b>		<b>1 167,33</b>	<b>100,00</b>	



**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Título:  
 EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR EFECTO DE LAS PRECIPITACIONES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHOTANO

**MAPA DEL FACTOR DE COBERTURA VEGETAL C**

Escala : 1/300,000  
 Datum Horizontal WGS84  
 Proyección Transversa de Mercator  
 Sistema de Coordenadas - UTM - Zona 17S

TESISTA: Bach. Alvarez Jaramillo Richard Año: 2023

FUENTE: Cartas nacionales, escala 1:100 000 - IGN  
 Zonificación económica ecológica - Gobierno regional de Cajamarca

Mapa: **19**

**Tabla 156**

*Simbología de los mapas y su clasificación descrita para el factor C.*

<b>Simbología</b>	<b>Descripción</b>	<b>Simbología</b>	<b>Descripción</b>
<b>MCV</b>	Mapa de Cobertura vegetal	<b>PN</b>	Pastos naturales
<b>MVN</b>	Mapa de Vegetación Natural	<b>VA</b>	Vegetación arbustiva
<b>MDF</b>	Mapa de Deforestación	<b>VE</b>	Vegetación escasa
<b>A</b>	Agricultura / Cultivos agrícolas	<b>BN - VA</b>	Bosques naturales - Vegetación arbustiva
<b>B</b>	Bosque primario	<b>BS - A</b>	Bosque secundario - Agricultura
<b>BN</b>	Bosque natural	<b>CA - PC</b>	Cultivos agrícolas - Pastos cultivados
<b>BS</b>	Bosque seco	<b>CA - PN</b>	Cultivos agrícolas - Pastos naturales
<b>CA</b>	Cultivos agrícolas	<b>CA - VA</b>	Cultivos agrícolas - Vegetación arbustiva
<b>M</b>	Mosaico de cultivos, pastos y vegetación arbustiva	<b>VE - CA</b>	Vegetación escasa - Cultivos agrícolas
<b>OC</b>	Otras coberturas	<b>VE - PN</b>	Vegetación escasa - Pastos naturales
<b>PJ</b>	Pajonal	<b>VE - VA</b>	Vegetación escasa - Vegetación arbustiva

#### **4.1.5. Factor de conservación de suelos (P)**

En la subcuenca de estudio no se han observado prácticas de este tipo, por lo que a este factor se le asigna el valor de uno a toda el área de la subcuenca del río Chotano.

#### **4.2. Pérdida de suelo y erosión potencial para las nueve estaciones de la subcuenca del río Chotano**

La pérdida anual del suelo por efecto de la erosión hídrica de las precipitaciones en las estaciones de la subcuenca del río Chotano para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años, se determina mediante la *ecuación (18)* del método USLE:  $E=R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$

Al respecto, debido a que no existe ninguna práctica de conservación de suelos (P) en la subcuenca de estudio, al factor P se le asigna el valor de 1. Asimismo, para determinar la erosión potencial, donde se calcula la máxima pérdida de suelo, al factor C y al factor P se le asigna el valor de 1; debido a que la erosión potencial sucede cuando el área esta desprovista de vegetación y no existe prácticas de conservación de suelo.

#### 4.2.1. Pérdida de suelos y erosión potencial para precipitaciones medias

Se muestran los resultados de la pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de la erosión hídrica de las precipitaciones medias para las estaciones de la subcuenca de estudio, determinadas mediante el método USLE para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años:

**Tabla 157**

*Pérdida de suelo de las precipitaciones medias para las estaciones de la subcuenca de estudio en diferentes tiempos de retorno.*

Estaciones	Pérdida de suelo (Ton/ha/año)				
	Periodo o tiempo de retorno				
	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
Chancay Baños	0,766	0,876	1,015	1,118	1,221
Chotano Lajas	6,673	7,349	8,202	8,835	9,464
Chugur	3,043	3,628	4,366	4,914	5,458
Cochabamba	2,152	2,496	2,932	3,254	3,575
Cutervo	3,824	4,262	4,815	5,225	5,632
Hacienda Pucara	2,076	2,480	2,990	3,369	3,745
Llama	6,111	7,613	9,511	10,919	12,317
Quebrada Shugar	3,428	3,932	4,570	5,042	5,512
Querocotillo	3,387	4,086	4,969	5,624	6,275

**Tabla 158**

*Erosión potencial de pérdida de suelo para las precipitaciones medias para las estaciones de la subcuenca de estudio en diferentes tiempos de retorno.*

Estaciones	Erosión potencial de pérdida de suelo (Ton/ha/año)				
	Periodo o tiempo de retorno				
	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
Chancay Baños	3,065	3,505	4,061	4,473	4,882
Chotano Lajas	26,691	29,394	32,809	35,341	37,856
Chugur	12,173	14,511	17,464	19,655	21,830
Cochabamba	8,608	9,986	11,727	13,018	14,300
Cutervo	15,296	17,047	19,259	20,899	22,528
Hacienda Pucara	50,643	60,493	72,938	82,171	91,337
Llama	24,445	30,453	38,045	43,677	49,268
Quebrada Shugar	13,711	15,729	18,278	20,170	22,047
Querocotillo	13,548	16,344	19,877	22,498	25,099

A modo de ejemplo, se muestra el cálculo de la pérdida de suelo y la erosión potencial para un tiempo de retorno de 5 años; y la clasificación de los resultados según la FAO:

**Tabla 159**

*Cálculo de la pérdida de suelo y erosión potencial de las Pp medias para las estaciones de la subcuenca de estudio - Tiempo de retorno de 5 años.*

Estaciones	Tiempo de retorno de 5 años					Pérdida de suelo Ton/ha/año	Erosión potencial
	Pp media mm	Factores de la ecuación USLE					
		R MJ·mm/ ha·h	K (Ton/ha) (MJ·mm/ ha·h)	LS Adimensional	C		
Chancay Baños	2,93	61,307	0,020	2,500	0,250	0,766	3,065
Chotano Lajas	3,01	57,033	0,040	11,700	0,250	6,673	26,691
Chugur	5,86	121,733	0,040	2,500	0,250	3,043	12,173
Cochabamba	2,78	56,594	0,013	11,700	0,250	2,152	8,608
Cutervo	3,42	64,813	0,040	5,900	0,250	3,824	15,296
Hacienda Pucara	2,01	54,791	0,079	11,700	0,041	2,076	50,643
Llama	3,16	103,579	0,040	5,900	0,250	6,111	24,445
Quebrada Shugar	3,08	58,596	0,020	11,700	0,250	3,428	13,711
Querocotillo	3,11	57,407	0,040	5,900	0,250	3,387	13,548

**Tabla 160**

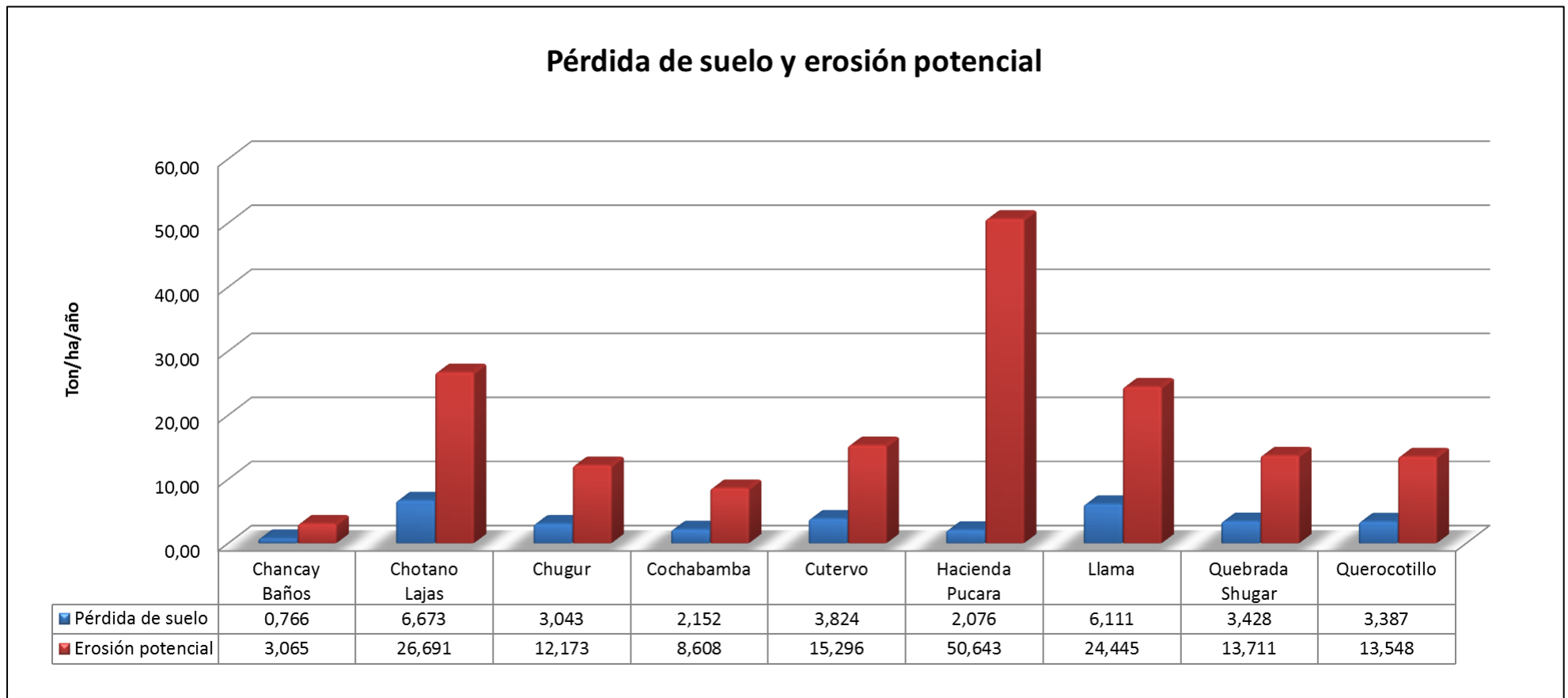
*Clasificación de la degradación de suelos de la FAO de la pérdida de suelo y erosión potencial de las Pp medias para las estaciones - Tiempo de retorno de 5 años.*

Estaciones	Tiempo de retorno de 5 años					
	Pérdida de suelo (Ton/ha/año)			Erosión potencial - Pérdida de suelo (Ton/ha/año)		
	Valor	Rango	Clasificación FAO	Valor	Rango	Clasificación FAO
Chancay Baños	0,766	0 - 10	Ninguna o ligera	3,065	0 - 10	Ninguna o ligera
Chotano Lajas	6,673	0 - 10	Ninguna o ligera	26,691	10 - 50	Moderada
Chugur	3,043	0 - 10	Ninguna o ligera	12,173	10 - 50	Moderada
Cochabamba	2,152	0 - 10	Ninguna o ligera	8,608	0 - 10	Ninguna o ligera
Cutervo	3,824	0 - 10	Ninguna o ligera	15,296	10 - 50	Moderada
Hacienda Pucara	2,076	0 - 10	Ninguna o ligera	50,643	10 - 50	Moderada
Llama	6,111	0 - 10	Ninguna o ligera	24,445	10 - 50	Moderada
Quebrada Shugar	3,428	0 - 10	Ninguna o ligera	13,711	10 - 50	Moderada
Querocotillo	3,387	0 - 10	Ninguna o ligera	13,548	10 - 50	Moderada



**Figura 59**

*Pérdida de suelo y erosión potencial de las precipitaciones medias en las nueve estaciones de la subcuenca de estudio para un tiempo de retorno de 5 años.*



Del mismo modo, se muestra el cálculo de la pérdida de suelo y la erosión potencial para un tiempo de retorno de 100 años; y la clasificación de los resultados según la FAO:

**Tabla 161**

*Cálculo de la pérdida de suelo y erosión potencial de las Pp medias para las estaciones de la subcuenca de estudio - Tiempo de retorno de 100 años.*

Estaciones	Tiempo de retorno de 100 años						Pérdida de suelo Ton/ha/año	Erosión potencial
	Pp media mm	Factores de la ecuación USLE				C		
		R MJ·mm/ ha·h	K (Ton/ha) (MJ·mm/ ha·h)	LS Adimensional				
Chancay Baños	4,58	97,644	0,020	2,500	0,250	1,221	4,882	
Chotano Lajas	4,26	80,889	0,040	11,700	0,250	9,464	37,856	
Chugur	9,98	218,301	0,040	2,500	0,250	5,458	21,830	
Cochabamba	4,57	94,016	0,013	11,700	0,250	3,575	14,300	
Cutervo	4,89	95,458	0,040	5,900	0,250	5,632	22,528	
Hacienda Pucara	3,08	98,817	0,079	11,700	0,041	3,745	91,337	
Llama	5,76	208,763	0,040	5,900	0,250	12,317	49,268	
Quebrada Shugar	4,77	94,218	0,020	11,700	0,250	5,512	22,047	
Querocotillo	5,46	106,353	0,040	5,900	0,250	6,275	25,099	

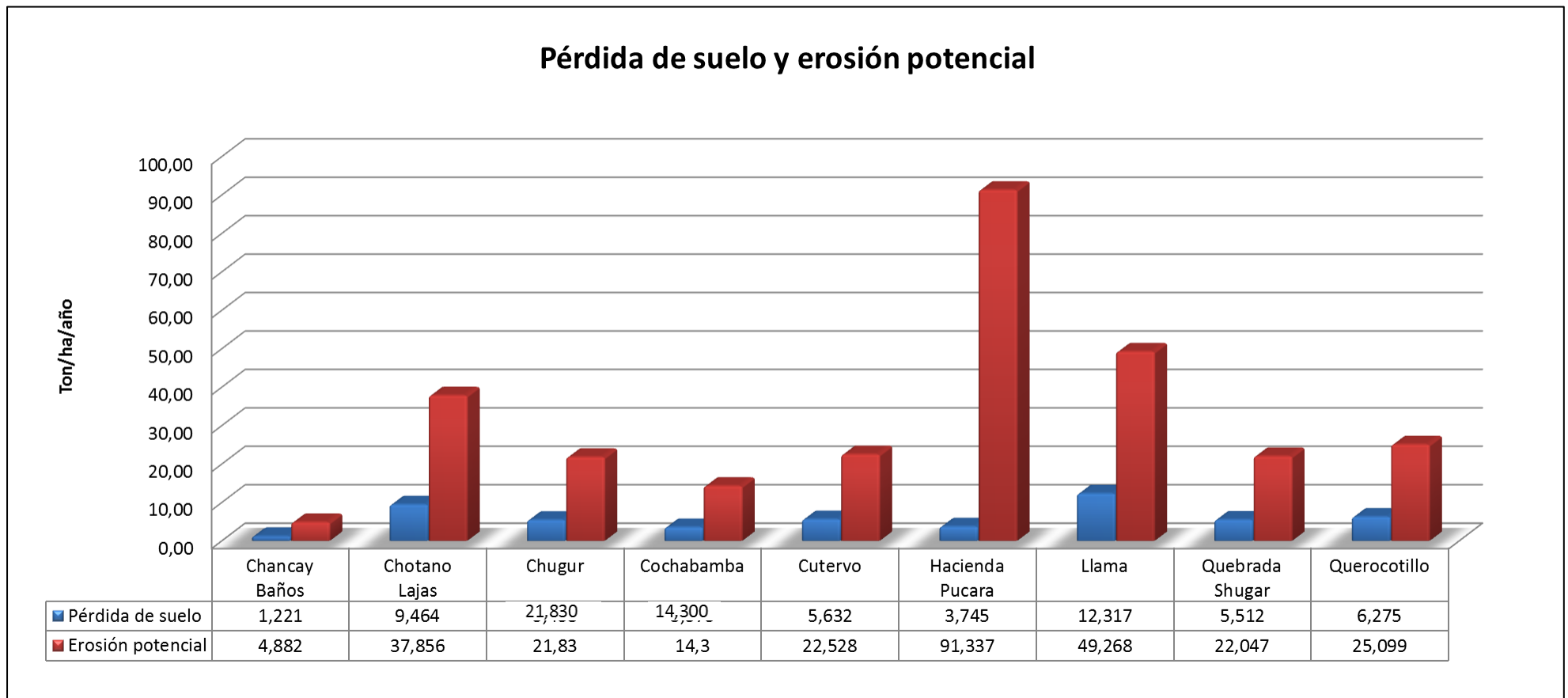
**Tabla 162**

*Clasificación de la degradación de suelos de la FAO de la pérdida de suelo y erosión potencial de las Pp medias para las nueve estaciones - Tiempo de retorno de 100 años.*

Estaciones	Tiempo de retorno de 100 años					
	Pérdida de suelo (Ton/ha/año)			Erosión potencial - Pérdida de suelo (Ton/ha/año)		
	Valor	Rango	Clasificación FAO	Valor	Rango	Clasificación FAO
Chancay Baños	1,221	0 - 10	Ninguna o ligera	4,882	0 - 10	Ninguna o ligera
Chotano Lajas	9,464	0 - 10	Ninguna o ligera	37,856	10 - 50	Moderada
Chugur	5,458	0 - 10	Ninguna o ligera	21,830	10 - 50	Moderada
Cochabamba	3,575	0 - 10	Ninguna o ligera	14,300	10 - 50	Moderada
Cutervo	5,632	0 - 10	Ninguna o ligera	22,528	10 - 50	Moderada
Hacienda Pucara	3,745	0 - 10	Ninguna o ligera	91,337	50 - 200	Alta
Llama	12,317	10 - 50	Moderada	49,268	10 - 50	Moderada
Quebrada Shugar	5,512	0 - 10	Ninguna o ligera	22,047	10 - 50	Moderada
Querocotillo	6,275	0 - 10	Ninguna o ligera	25,099	10 - 50	Moderada

**Figura 60**

*Pérdida de suelo y erosión potencial de las precipitaciones medias en las nueve estaciones de la subcuenca de estudio para un tiempo de retorno de 100 años.*



A continuación, para un análisis a nivel de cada estación de los resultados de la pérdida de suelo y su erosión potencial por efecto de la erosión hídrica para precipitaciones medias, se considera a modo de ejemplo la zona donde se ubica la estación Chancay Baños y la estación Hacienda Pucara, para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años:

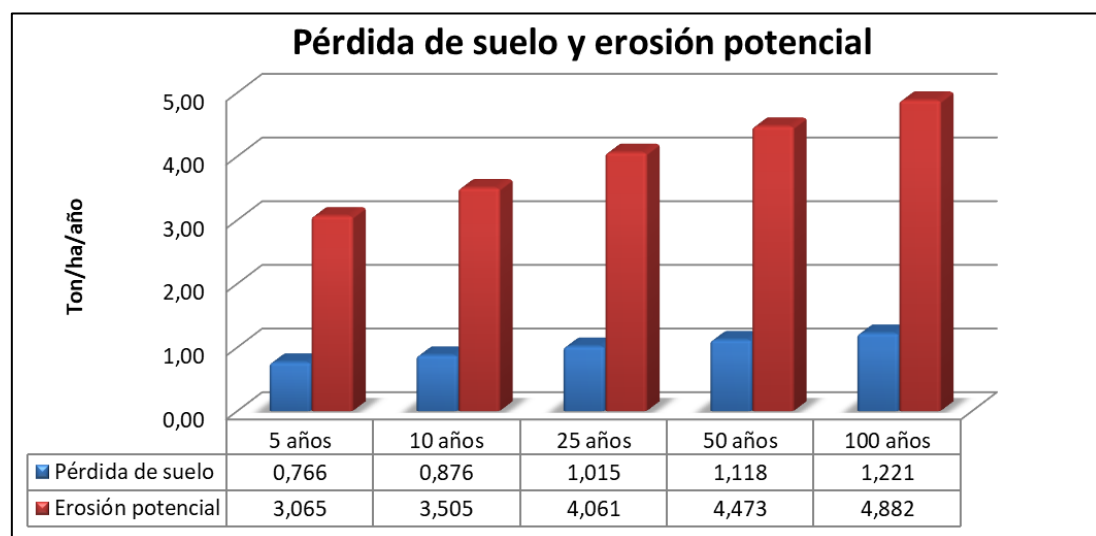
**Tabla 163**

*Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp medias en la estación Chancay Baños para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.*

Tiempo de retorno (TR)	Pp media	Factores de la ecuación USLE				Pérdida de suelo	Erosión potencial
		R	K	LS	C		
	mm	MJ·mm/ha·h	(Ton/ha) (MJ·mm/ha·h)	Adimensional	Ton/ha/año		
5 años	2,93	61,307	0,020	2,500	0,250	0,766	3,065
10 años	3,33	70,103	0,020	2,500	0,250	0,876	3,505
25 años	3,83	81,216	0,020	2,500	0,250	1,015	4,061
50 años	4,21	89,461	0,020	2,500	0,250	1,118	4,473
100 años	4,58	97,644	0,020	2,500	0,250	1,221	4,882

**Figura 61**

*Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp medias en la estación Chancay Baños.*



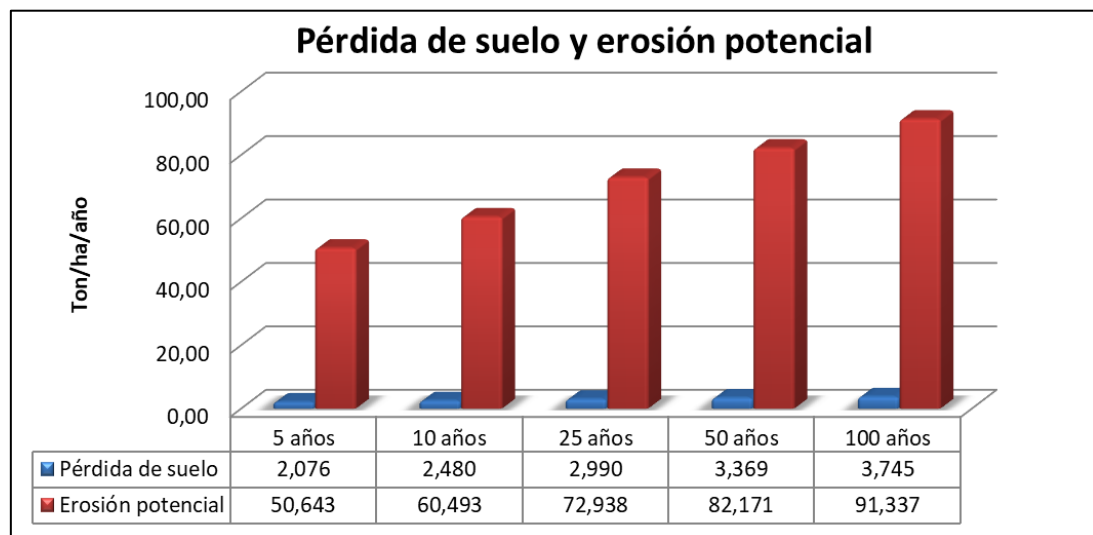
**Tabla 164**

*Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp medias en la estación Hacienda Pucara para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.*

Tiempo de retorno (TR)	Pp media	Factores de la ecuación USLE				Pérdida de suelo	Erosión potencial
		R	K	LS	C		
	mm	MJ·mm/ha·h	(Ton/ha) (MJ·mm/ha·h)	Adimensional	Ton/ha/año		
5 años	2,01	54,791	0,079	11,700	0,041	2,076	50,643
10 años	2,27	65,447	0,079	11,700	0,041	2,480	60,493
25 años	2,60	78,912	0,079	11,700	0,041	2,990	72,938
50 años	2,84	88,901	0,079	11,700	0,041	3,369	82,171
100 años	3,08	98,817	0,079	11,700	0,041	3,745	91,337

**Figura 62**

*Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp medias en la estación Hacienda Pucara.*



Cabe mencionar que, para los ejemplos se seleccionaron estas dos estaciones por la ubicación con respecto a su cobertura vegetal, donde se puede observar la influencia de la cobertura vegetal en la pérdida de suelo con respecto a su erosión potencial. La estación Chancay Baños se ubica en una zona con vegetación escasa y la estación Hacienda Pucara en una zona con bosques.

#### 4.2.2. Pérdida de suelos y erosión potencial para precipitaciones máximas

Se muestran los resultados de la pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de la erosión hídrica de las precipitaciones máximas para las estaciones de la subcuenca de estudio, determinadas mediante el método USLE para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años:

**Tabla 165**

*Pérdida de suelo de las precipitaciones máximas para las estaciones de la subcuenca de estudio en diferentes tiempos de retorno.*

Estaciones	Pérdida de suelo (Ton/ha/año)				
	Periodo o tiempo de retorno				
	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
Chancay Baños	2,501	2,837	3,263	3,579	3,893
Chotano Lajas	21,940	24,764	28,332	30,979	33,606
Chugur	6,618	7,827	9,354	10,487	11,612
Cochabamba	7,797	8,953	10,415	11,499	12,575
Cutervo	11,638	12,923	14,546	15,750	16,945
Hacienda Pucara	6,212	7,325	8,731	9,774	10,809
Llama	10,412	12,152	14,352	15,984	17,603
Quebrada Shugar	8,607	9,526	10,687	11,549	12,404
Querocotillo	11,844	14,306	17,416	19,724	22,015

**Tabla 166**

*Erosión potencial de pérdida de suelo de las precipitaciones máximas para las estaciones de la subcuenca de estudio en diferentes tiempos de retorno.*

Estaciones	Erosión potencial de pérdida de suelo (Ton/ha/año)				
	Periodo o tiempo de retorno				
	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
Chancay Baños	10,002	11,350	13,053	14,316	15,570
Chotano Lajas	87,759	99,055	113,328	123,916	134,426
Chugur	26,470	31,306	37,416	41,949	46,448
Cochabamba	31,187	35,814	41,659	45,996	50,300
Cutervo	46,552	51,691	58,183	63,000	67,781
Hacienda Pucara	151,513	178,651	212,941	238,379	263,629
Llama	41,647	48,610	57,408	63,935	70,414
Quebrada Shugar	34,429	38,105	42,749	46,195	49,615
Querocotillo	47,376	57,223	69,665	78,896	88,058

A modo de ejemplo, se muestra el cálculo de la pérdida de suelo y la erosión potencial para un tiempo de retorno de 5 años; y la clasificación de los resultados según la FAO:

**Tabla 167**

*Cálculo de la pérdida de suelo y erosión potencial de las Pp máximas para las estaciones de la subcuenca de estudio - Tiempo de retorno de 5 años.*

Estaciones	Tiempo de retorno de 5 años					Pérdida de suelo Ton/ha/año	Erosión potencial
	Pp máxima mm	Factores de la ecuación USLE					
		R MJ·mm/ ha·h	K (Ton/ha) (MJ·mm/ ha·h)	LS Adimensional	C		
Chancay Baños	63,47	200,040	0,020	2,500	0,250	2,501	10,002
Chotano Lajas	53,18	187,519	0,040	11,700	0,250	21,940	87,759
Chugur	75,10	264,703	0,040	2,500	0,250	6,618	26,470
Cochabamba	81,52	205,044	0,013	11,700	0,250	7,797	31,187
Cutervo	58,36	197,253	0,040	5,900	0,250	11,638	46,552
Hacienda Pucara	57,28	163,922	0,079	11,700	0,041	6,212	151,513
Llama	82,51	176,469	0,040	5,900	0,250	10,412	41,647
Quebrada Shugar	38,17	147,132	0,020	11,700	0,250	8,607	34,429
Querocotillo	58,90	200,744	0,040	5,900	0,250	11,844	47,376

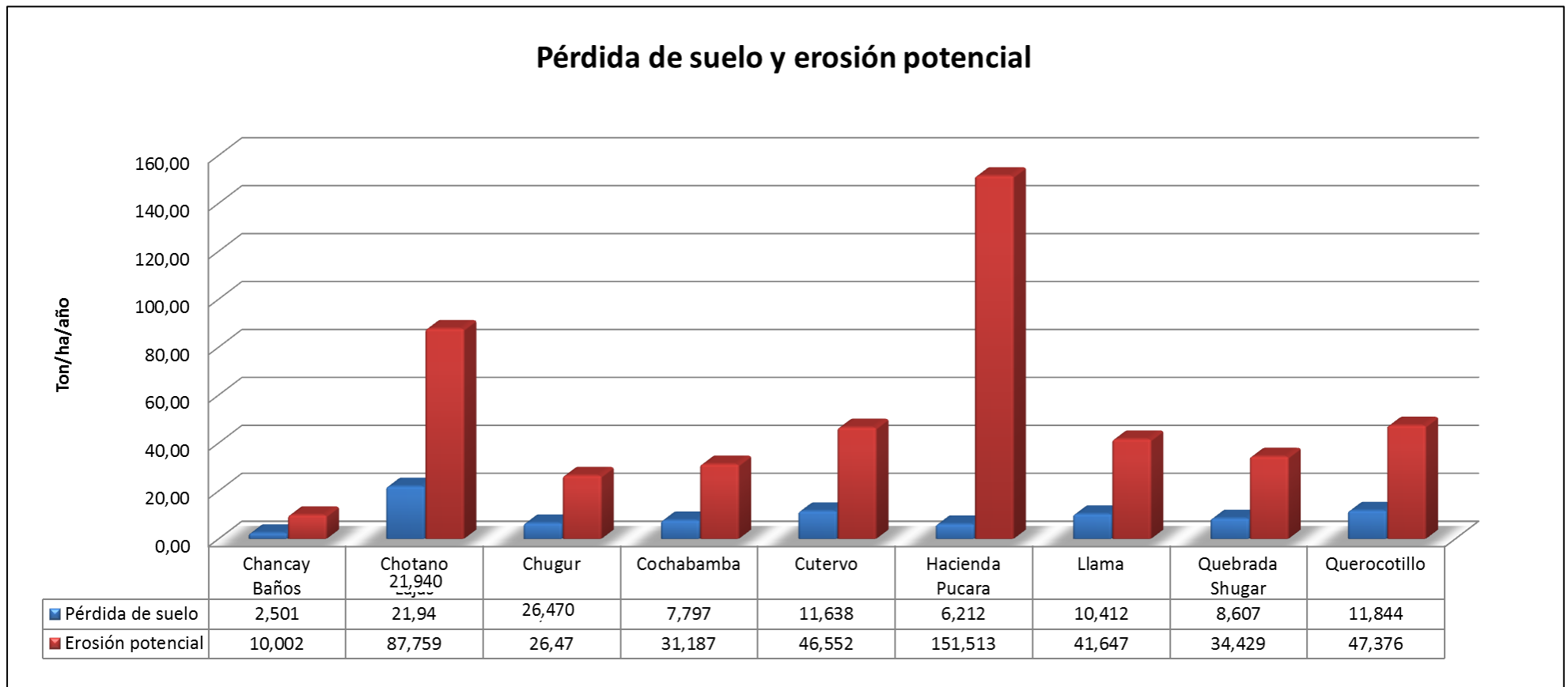
**Tabla 168**

*Clasificación de la degradación de suelos de la FAO de la pérdida de suelo y erosión potencial de las Pp máximas para las nueve estaciones - Tiempo de retorno de 5 años.*

Estaciones	Tiempo de retorno de 5 años					
	Pérdida de suelo (Ton/ha/año)			Erosión potencial - Pérdida de suelo (Ton/ha/año)		
	Valor	Rango	Clasificación FAO	Valor	Rango	Clasificación FAO
Chancay Baños	2,501	0 - 10	Ninguna o ligera	10,002	10 - 50	Moderada
Chotano Lajas	21,940	10 - 50	Moderada	87,759	50 - 200	Alta
Chugur	6,618	0 - 10	Ninguna o ligera	26,470	10 - 50	Moderada
Cochabamba	7,797	0 - 10	Ninguna o ligera	31,187	10 - 50	Moderada
Cutervo	11,638	10 - 50	Moderada	46,552	10 - 50	Moderada
Hacienda Pucara	6,212	0 - 10	Ninguna o ligera	151,513	50 - 200	Alta
Llama	10,412	10 - 50	Moderada	41,647	10 - 50	Moderada
Quebrada Shugar	8,607	0 - 10	Ninguna o ligera	34,429	10 - 50	Moderada
Querocotillo	11,844	10 - 50	Moderada	47,376	10 - 50	Moderada

**Figura 63**

*Pérdida de suelo y erosión potencial de las precipitaciones máximas en las nueve estaciones de la subcuenca de estudio para un tiempo de retorno de 5 años.*





Del mismo modo, se muestra el cálculo de la pérdida de suelo y la erosión potencial para un tiempo de retorno de 100 años; y la clasificación de los resultados según la FAO:

**Tabla 169**

*Cálculo de la pérdida de suelo y erosión potencial de las Pp máximas para las estaciones de la subcuenca de estudio - Tiempo de retorno de 100 años.*

Estaciones	Tiempo de retorno de 100 años						Pérdida de suelo Ton/ha/año	Erosión potencial
	Pp máxima mm	Factores de la ecuación USLE				C		
		R MJ·mm/ ha·h	K (Ton/ha) (MJ·mm/ ha·h)	LS Adimensional				
Chancay Baños	102,06	311,409	0,020	2,500	0,250	3,893	15,570	
Chotano Lajas	85,71	287,234	0,040	11,700	0,250	33,606	134,426	
Chugur	132,89	464,481	0,040	2,500	0,250	11,612	46,448	
Cochabamba	145,37	330,705	0,013	11,700	0,250	12,575	50,300	
Cutervo	92,77	287,209	0,040	5,900	0,250	16,945	67,781	
Hacienda Pucara	97,14	285,220	0,079	11,700	0,041	10,809	263,629	
Llama	150,32	298,363	0,040	5,900	0,250	17,603	70,414	
Quebrada Shugar	57,88	212,029	0,020	11,700	0,250	12,404	49,615	
Querocotillo	114,50	373,128	0,040	5,900	0,250	22,015	88,058	

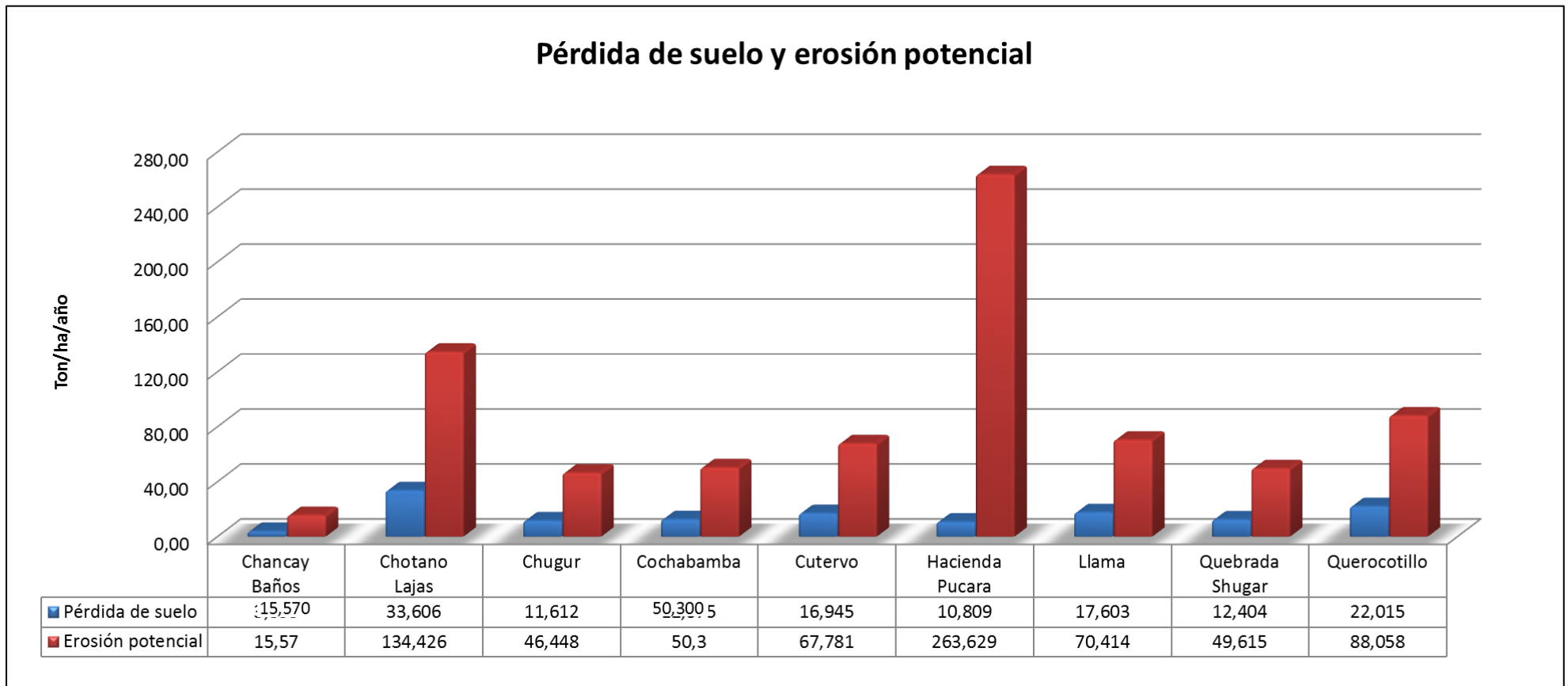
**Tabla 170**

*Clasificación de la degradación de suelos de la FAO de la pérdida de suelo y erosión potencial de las Pp máximas para las nueve estaciones - Tiempo de retorno de 100 años.*

Estaciones	Tiempo de retorno de 100 años					
	Pérdida de suelo (Ton/ha/año)			Erosión potencial - Pérdida de suelo (Ton/ha/año)		
	Valor	Rango	Clasificación FAO	Valor	Rango	Clasificación FAO
Chancay Baños	3,893	0 - 10	Ninguna o ligera	15,570	10 - 50	Moderada
Chotano Lajas	33,606	10 - 50	Moderada	134,426	50 - 200	Alta
Chugur	11,612	10 - 50	Moderada	46,448	10 - 50	Moderada
Cochabamba	12,575	10 - 50	Moderada	50,300	50 - 200	Alta
Cutervo	16,945	10 - 50	Moderada	67,781	50 - 200	Alta
Hacienda Pucara	10,809	10 - 50	Moderada	263,629	> 200	Muy alta
Llama	17,603	10 - 50	Moderada	70,414	50 - 200	Alta
Quebrada Shugar	12,404	10 - 50	Moderada	49,615	10 - 50	Moderada
Querocotillo	22,015	10 - 50	Moderada	88,058	50 - 200	Alta

**Figura 64**

*Pérdida de suelo y erosión potencial de las precipitaciones máximas en las nueve estaciones de la subcuenca de estudio para un tiempo de retorno de 100 años.*



A continuación, para el análisis a nivel de cada estación de los resultados de la pérdida de suelo y su erosión potencial por efecto de la erosión hídrica para precipitaciones máximas, se considera a modo de ejemplo la ubicación de las estaciones Chancay Baños y Hacienda Pucara, para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años:

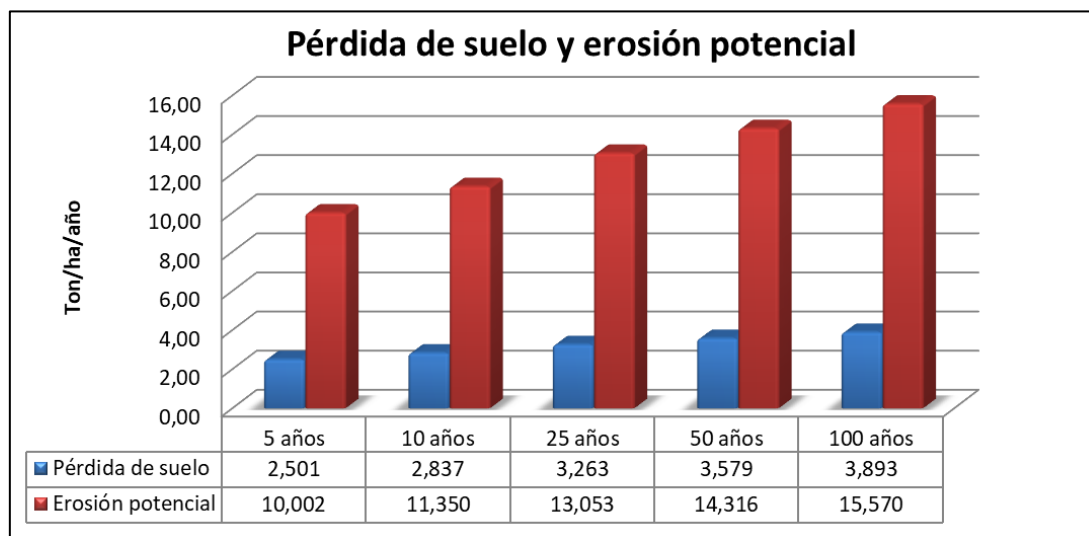
**Tabla 171**

*Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp máximas en la estación Chancay Baños para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.*

Tiempo de retorno (TR)	Pp máxima mm	Factores de la ecuación USLE				Pérdida de suelo Ton/ha/año	Erosión potencial Ton/ha/año
		R MJ·mm/ ha·h	K (Ton/ha) (MJ·mm/ ha·h)	LS Adimensional	C		
5 años	63,47	200,040	0,020	2,500	0,250	2,501	10,002
10 años	72,81	226,998	0,020	2,500	0,250	2,837	11,350
25 años	84,61	261,059	0,020	2,500	0,250	3,263	13,053
50 años	93,37	286,327	0,020	2,500	0,250	3,579	14,316
100 años	102,06	311,409	0,020	2,500	0,250	3,893	15,570

**Figura 65**

*Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp máximas en la estación Chancay Baños.*



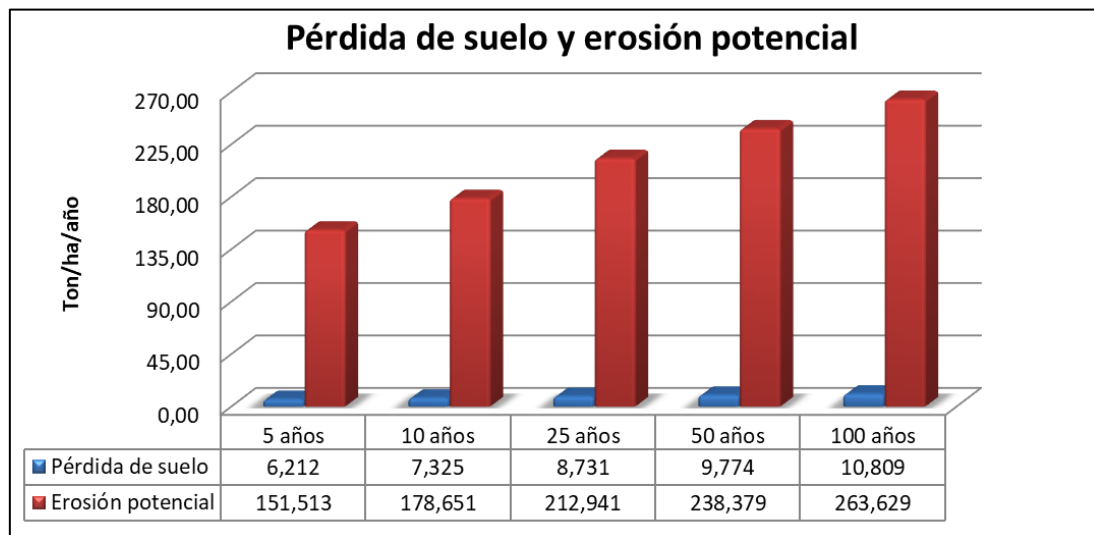
**Tabla 172**

*Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp máximas en la estación Hacienda Pucara para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.*

Tiempo de retorno (TR)	Pp máxima mm	Factores de la ecuación USLE				Pérdida de suelo Ton/ha/año	Erosión potencial Ton/ha/año
		R MJ·mm/ ha·h	K (Ton/ha) (MJ·mm/ ha·h)	LS Adimensional	C		
5 años	57,28	163,922	0,079	11,700	0,041	6,212	151,513
10 años	66,92	193,283	0,079	11,700	0,041	7,325	178,651
25 años	79,12	230,381	0,079	11,700	0,041	8,731	212,941
50 años	88,16	257,902	0,079	11,700	0,041	9,774	238,379
100 años	97,14	285,220	0,079	11,700	0,041	10,809	263,629

**Figura 66**

*Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp máximas en la estación Hacienda Pucara.*



Cabe mencionar que, para los ejemplos se seleccionaron estas dos estaciones por la ubicación con respecto a su cobertura vegetal, donde se puede observar la influencia de la cobertura vegetal en la pérdida de suelo con respecto a su erosión potencial. La estación Chancay Baños se ubica en una zona con vegetación escasa y la estación Hacienda Pucara en una zona con bosques.

### 4.3. Pérdida de suelo y erosión potencial en la subcuenca del río Chotano

La pérdida anual del suelo por efecto de la erosión hídrica de las precipitaciones en la subcuenca del río Chotano para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años, se determina multiplicando los mapas determinados para cada factor de la *ecuación (18)* del método USLE, mediante la técnica de la superposición cartográfica del *software ArcGis*, donde se obtiene la siguiente fórmula:

$$ME=MR \cdot MK \cdot MLS \cdot MC \cdot MP \quad (67)$$

donde:

ME = Mapa de pérdida anual del suelo o erosión potencial en Ton/ha/año

MR = Mapa del factor lluvia o índice de erosividad pluvial en MJ·mm/ha·h

MK = Mapa de erodabilidad del suelo en (Ton/ha)/( MJ·mm/ha·h)

MLS = Mapa del factor topográfico, es adimensional

MC = Mapa del factor de cobertura vegetal, es adimensional

MP = Mapa del factor de prácticas de conservación, es adimensional

Con la función de la herramienta *Map algebra* del *software ArcGis*, se procede a multiplicar la información de los mapas temáticos correspondiente a los factores de erosividad (R), erodabilidad (K), topográfico (LS) y cobertura vegetal (C); al respecto, en la subcuenca de estudio no existe ninguna práctica de conservación, por lo tanto, al mapa del factor P se le asigna el valor de 1.

Asimismo, para determinar la erosión potencial, donde se calcula la máxima pérdida de suelo, al mapa del factor C y del factor P se le asigna el valor de 1; debido a que la erosión potencial sucede cuando el área está desprovista de su vegetación natural y no existen prácticas de conservación de suelo en la zona de estudio.

Finalmente se ordena la información de los valores determinados para la pérdida de suelos y la erosión potencial, determinados mediante el método USLE y la técnica SIG, según la clasificación de la degradación de suelos de la FAO y con la finalidad de conocer la superficie y el porcentaje que cubre cada distribución en la subcuenca del río Chotano se calculan sus respectivas áreas.

#### ***4.3.1. Pérdida de suelos y erosión potencial para precipitaciones medias***

Al aplicar la superposición cartográfica mediante la función *Map algebra* del software *ArcGis*, se obtienen los siguientes resultados para las precipitaciones medias de toda la subcuenca del río Chotano, determinadas mediante el método USLE para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años:

**Tabla 173**

*Pérdida de suelo de las precipitaciones medias y clasificación de la FAO para diferentes tiempos de retorno en la subcuenca de estudio.*

<b>Tiempo de retorno (TR)</b>	<b>Pérdida de suelo (Ton/ha/año)</b>		<b>Distribución de la clasificación de la FAO en la subcuenca del río Chotano</b>	
	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Ninguna o ligera</b>	<b>Moderada</b>
<b>5 años</b>	0,012	26,574	95,17%	4,83%
<b>10 años</b>	0,013	31,287	94,60%	5,40%
<b>25 años</b>	0,015	37,250	85,29%	14,71%
<b>50 años</b>	0,016	41,673	81,46%	18,54%
<b>100 años</b>	0,017	46,065	79,70%	20,30%

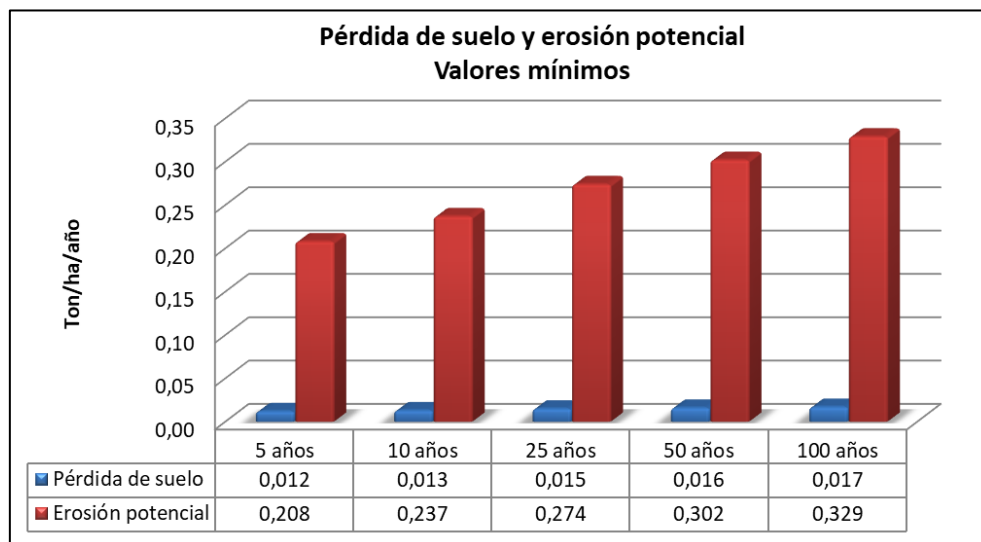
**Tabla 174**

*Erosión potencial de las precipitaciones medias y clasificación de la FAO para diferentes tiempos de retorno en la subcuenca de estudio.*

Tiempo de retorno (TR)	Erosión potencial - Pérdida de suelo (Ton/ha/año)		Distribución de la clasificación de la FAO en la subcuenca del río Chotano		
	Mínimo	Máximo	Ninguna o ligera	Moderada	Alta
<b>5 años</b>	0,208	106,298	21,41%	70,26%	8,33%
<b>10 años</b>	0,237	125,148	17,19%	71,63%	11,18%
<b>25 años</b>	0,274	148,999	14,64%	71,21%	14,15%
<b>50 años</b>	0,302	166,693	13,67%	64,48%	21,85%
<b>100 años</b>	0,329	184,260	12,94%	54,25%	32,81%

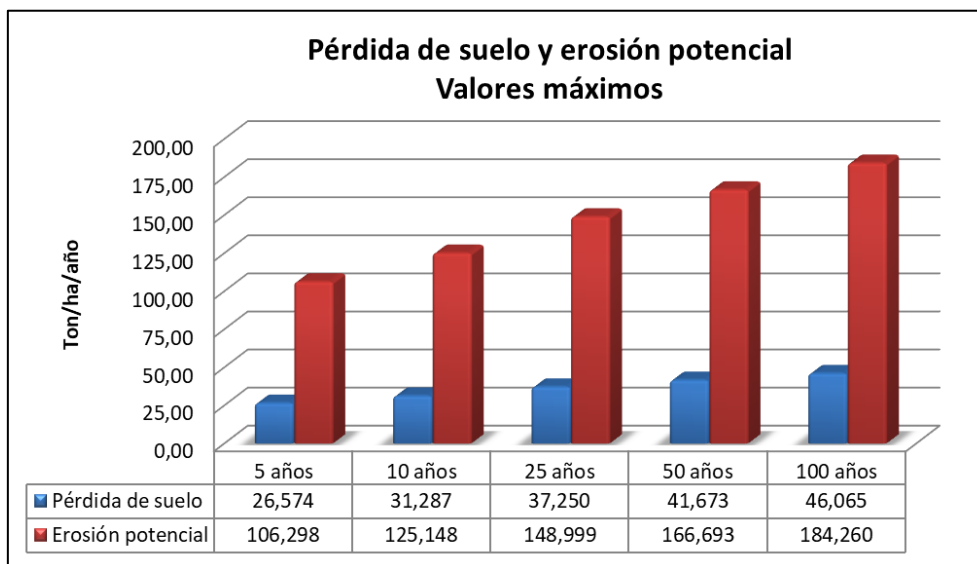
**Figura 67**

*Valor mínimo de la pérdida de suelo y de la erosión potencial por efecto de las precipitaciones medias en la subcuenca de estudio.*

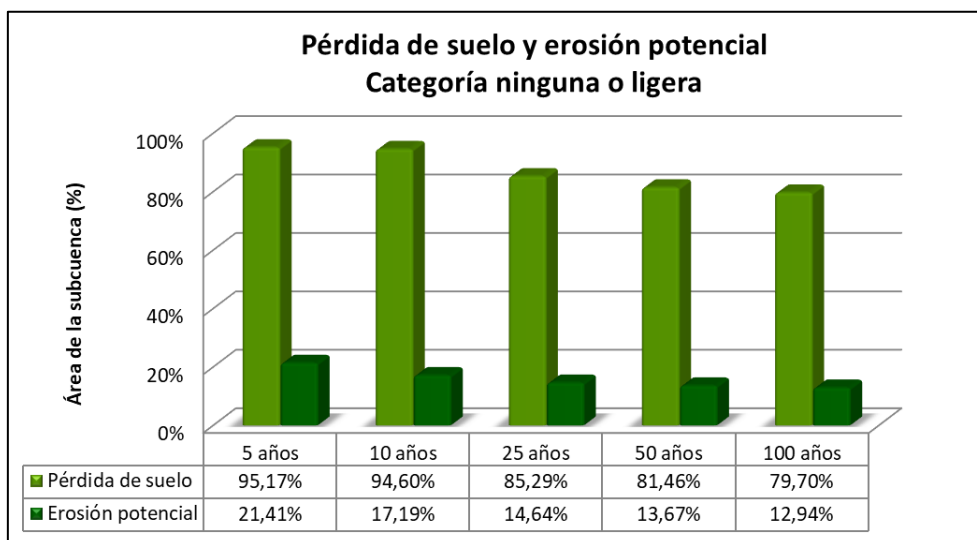


**Figura 68**

Valor máximo de la pérdida de suelo y de la erosión potencial por efecto de las precipitaciones medias en la subcuenca de estudio.

**Figura 69**

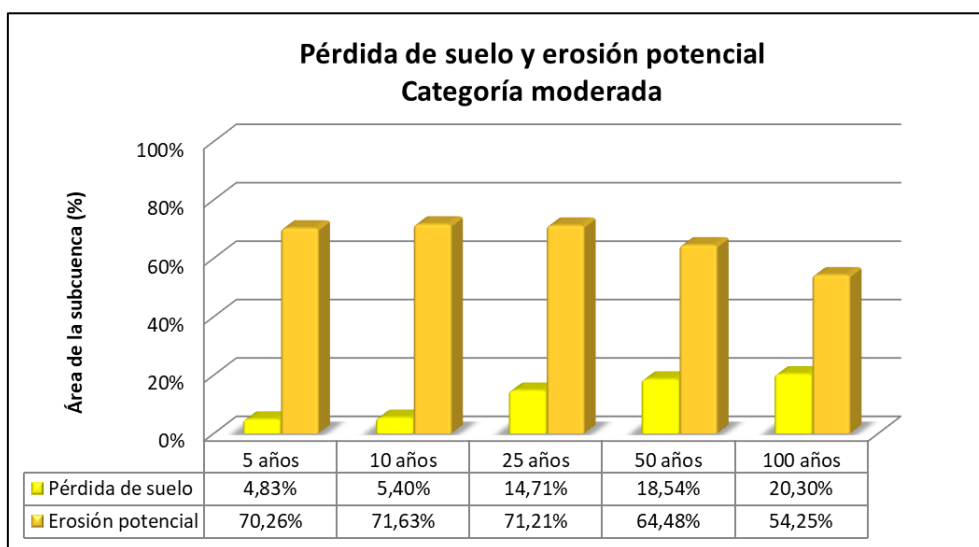
Porcentaje de la categoría “ninguna o ligera” de la FAO para la pérdida de suelo y la erosión potencial por efecto de las precipitaciones medias para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.



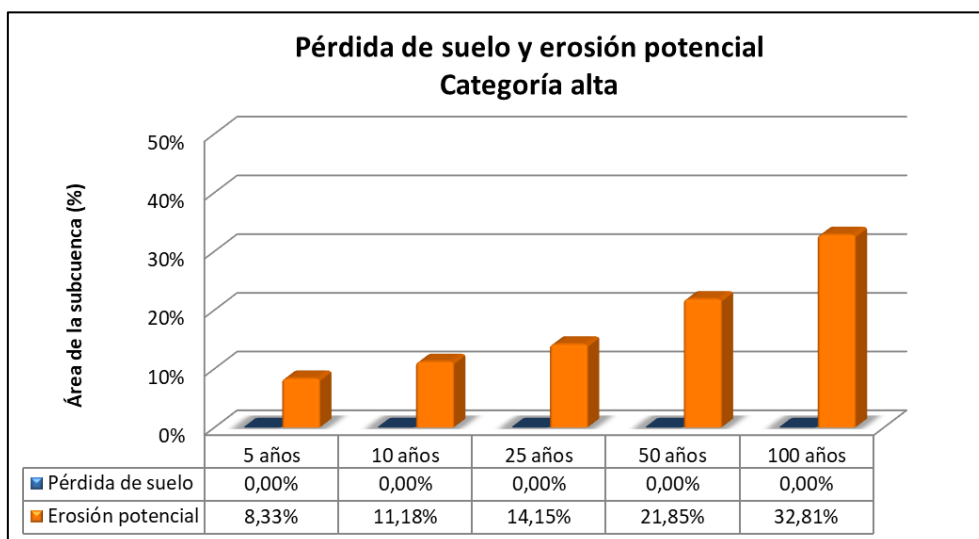


**Figura 70**

Porcentaje de la categoría “moderada” de la FAO para la pérdida de suelo y la erosión potencial por efecto de las precipitaciones medias para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.

**Figura 71**

Porcentaje de la categoría “alta” de la FAO para la pérdida de suelo y la erosión potencial por efecto de las precipitaciones medias para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.



#### 4.3.1.1. Distribución y clasificación de la FAO para la pérdida de suelo y erosión potencial de las Pp medias en un TR de 5 años para la subcuenca de estudio

**Tabla 175**

*Clasificación de la pérdida de suelo de las Pp medias en la subcuenca - TR de 5 años.*

Pérdida de suelo (Ton/ha/año)	Categoría	Área de la subcuenca		Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
		km <sup>2</sup>	ha		
0 - 5	Ninguna o ligera	844,98	84 498,00	72,39	95,17
5 - 10		265,89	26 589,00	22,78	
10 - 25	Moderada	52,82	5 282,00	4,52	4,83
25 - 50		3,64	364,00	0,31	
<b>Total</b>		1 167,33	116 733,00	100,00	100,00

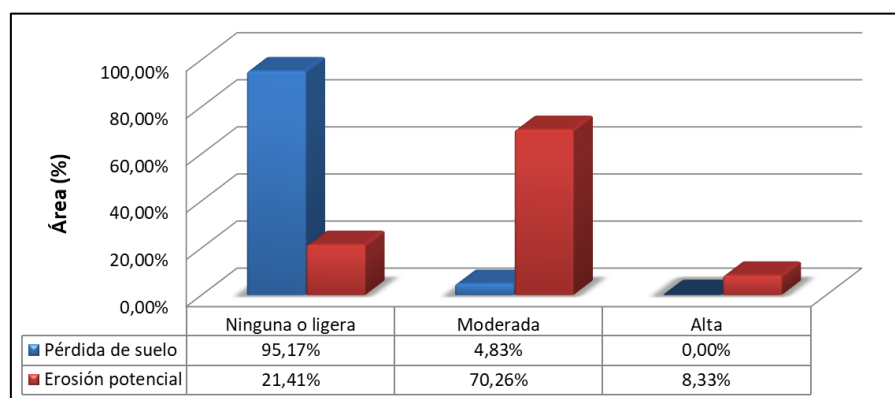
**Tabla 176**

*Clasificación de la erosión potencial de las Pp medias en la subcuenca - TR de 5 años.*

Erosión potencial (Ton/ha/año)	Categoría	Área de la subcuenca		Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
		km <sup>2</sup>	ha		
0 - 5	Ninguna o ligera	89,32	8 932,00	7,65	21,41
5 - 10		160,65	16 065,00	13,76	
10 - 25	Moderada	430,30	43 030,00	36,86	70,26
25 - 50		389,84	38 984,00	33,40	
50 - 100	Alta	93,56	9 356,00	8,02	8,33
100 - 200		3,66	366,00	0,31	
<b>Total</b>		1 167,33	116 733,00	100,00	100,00

**Figura 72**

*Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp medias para un TR de 5 años en la subcuenca de estudio.*



### 4.3.1.2. Distribución y clasificación de la FAO para la pérdida de suelo y erosión potencial de las Pp medias en un TR de 10 años para la subcuenca de estudio

**Tabla 177**

*Clasificación de la pérdida de suelo de las Pp medias en la subcuenca - TR de 10 años.*

Pérdida de suelo (Ton/ha/año)	Categoría	Área de la subcuenca		Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
		km <sup>2</sup>	ha		
0 - 5	Ninguna o ligera	794,09	79 409,00	68,03	94,60
5 - 10		310,15	31 015,00	26,57	
10 - 25	Moderada	59,45	5 945,00	5,09	5,40
25 - 50		3,64	364,00	0,31	
<b>Total</b>		1 167,33	116 733,00	100,00	100,00

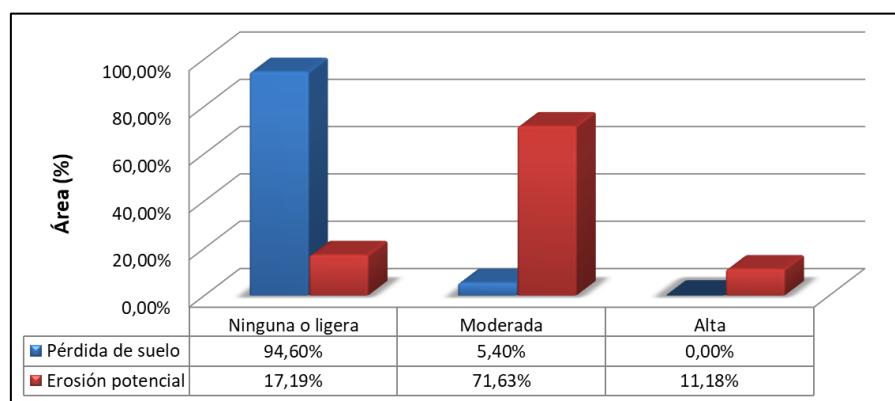
**Tabla 178**

*Clasificación de la erosión potencial de las Pp medias en la subcuenca - TR de 10 años.*

Erosión potencial (Ton/ha/año)	Categoría	Área de la subcuenca		Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
		km <sup>2</sup>	ha		
0 - 5	Ninguna o ligera	70,33	7 033,00	6,03	17,19
5 - 10		130,28	13 028,00	11,16	
10 - 25	Moderada	433,53	43 353,00	37,14	71,63
25 - 50		402,67	40 267,00	34,49	
50 - 100	Alta	125,16	12 516,00	10,72	11,18
100 - 200		5,36	536,00	0,46	
<b>Total</b>		1 167,33	116 733,00	100,00	100,00

**Figura 73**

*Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp medias para un TR de 10 años en la subcuenca de estudio.*



### 4.3.1.3. Distribución y clasificación de la FAO para la pérdida de suelo y erosión potencial de las Pp medias en un TR de 25 años para la subcuenca de estudio

**Tabla 179**

*Clasificación de la pérdida de suelo de las Pp medias en la subcuenca - TR de 25 años.*

Pérdida de suelo (Ton/ha/año)	Categoría	Área de la subcuenca		Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
		km <sup>2</sup>	ha		
0 - 5	Ninguna o ligera	713,81	71 381,00	61,15	85,29
5 - 10		281,84	28 184,00	24,14	
10 - 25	Moderada	168,04	16 804,00	14,40	14,71
25 - 50		3,64	364,00	0,31	
<b>Total</b>		1 167,33	116 733,00	100,00	100,00

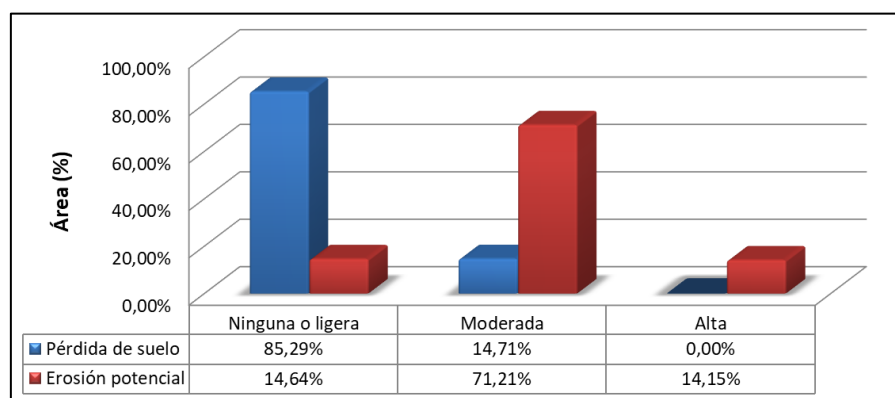
**Tabla 180**

*Clasificación de la erosión potencial de las Pp medias en la subcuenca - TR de 25 años.*

Erosión potencial (Ton/ha/año)	Categoría	Área de la subcuenca		Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
		km <sup>2</sup>	ha		
0 - 5	Ninguna o ligera	57,90	5 790,00	4,96	14,64
5 - 10		112,95	11 295,00	9,68	
10 - 25	Moderada	411,11	41 111,00	35,22	17,21
25 - 50		420,11	42 011,00	35,99	
50 - 100	Alta	159,71	15 971,00	13,68	14,15
100 - 200		5,55	555,00	0,47	
<b>Total</b>		1 167,33	116 733,00	100,00	100,00

**Figura 74**

*Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp medias para un TR de 25 años en la subcuenca de estudio.*



#### 4.3.1.4. Distribución y clasificación de la FAO para la pérdida de suelo y erosión potencial de las Pp medias en un TR de 50 años para la subcuenca de estudio

**Tabla 181**

*Clasificación de la pérdida de suelo de las Pp medias en la subcuenca - TR de 50 años.*

Pérdida de suelo (Ton/ha/año)	Categoría	Área de la subcuenca		Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
		km <sup>2</sup>	ha		
0 - 5	Ninguna o ligera	680,20	68 020,00	58,27	81,46
5 - 10		270,73	27 073,00	23,19	
10 - 25	Moderada	209,77	20 977,00	17,97	13,67
25 - 50		6,63	663,00	0,57	
<b>Total</b>		1 167,33	116 733,00	100,00	100,00

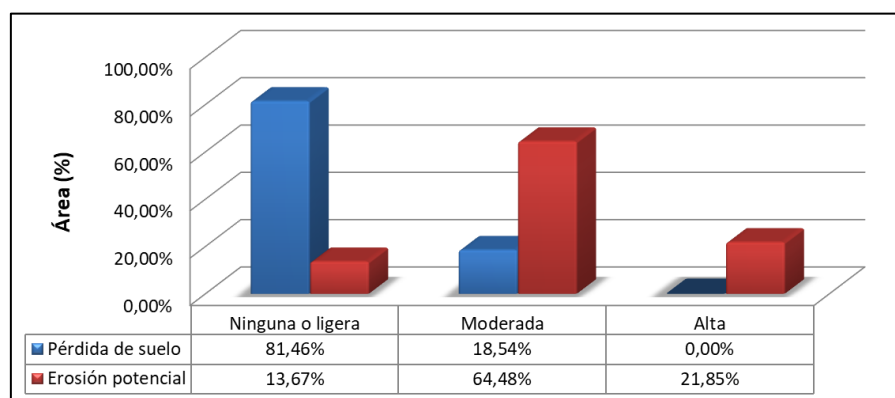
**Tabla 182**

*Clasificación de la erosión potencial de las Pp medias en la subcuenca - TR de 50 años.*

Erosión potencial (Ton/ha/año)	Categoría	Área de la subcuenca		Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
		km <sup>2</sup>	ha		
0 - 5	Ninguna o ligera	52,02	5 202,00	4,46	13,67
5 - 10		107,56	10 756,00	9,21	
10 - 25	Moderada	344,62	34 462,00	29,52	64,48
25 - 50		408,10	40 810,00	34,96	
50 - 100	Alta	239,28	23 928,00	20,50	21,85
100 - 200		15,75	1 575,00	1,35	
<b>Total</b>		1 167,33	116 733,00	100,00	100,00

**Figura 75**

*Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp medias para un TR de 50 años en la subcuenca de estudio.*



#### 4.3.1.5. Distribución y clasificación de la FAO para la pérdida de suelo y erosión potencial de las Pp medias en un TR de 100 años para la subcuenca de estudio

**Tabla 183**

*Clasificación de la pérdida de suelo de las Pp medias en la subcuenca - TR de 100 años.*

Pérdida de suelo (Ton/ha/año)	Categoría	Área de la subcuenca		Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
		km <sup>2</sup>	ha		
0 - 5	Ninguna o ligera	615,27	61 527,00	52,71	79,70
5 - 10		315,16	31 516,00	26,99	
10 - 25	Moderada	204,24	20 424,00	17,50	20,30
25 - 50		32,66	3 266,00	2,80	
<b>Total</b>		1 167,33	116 733,00	100,00	100,00

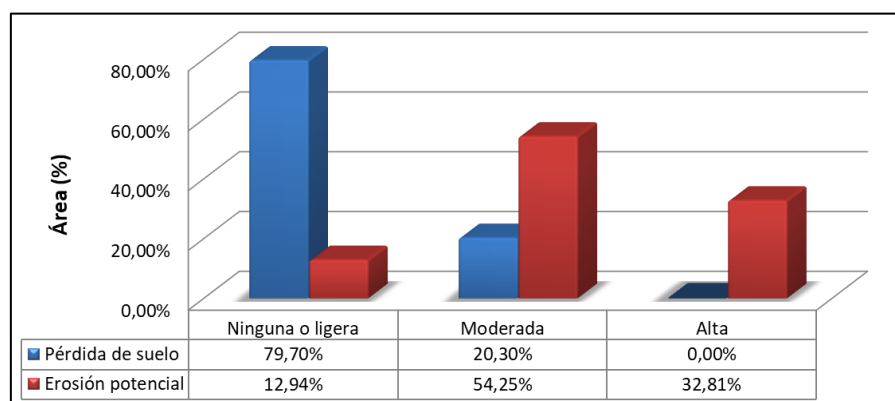
**Tabla 184**

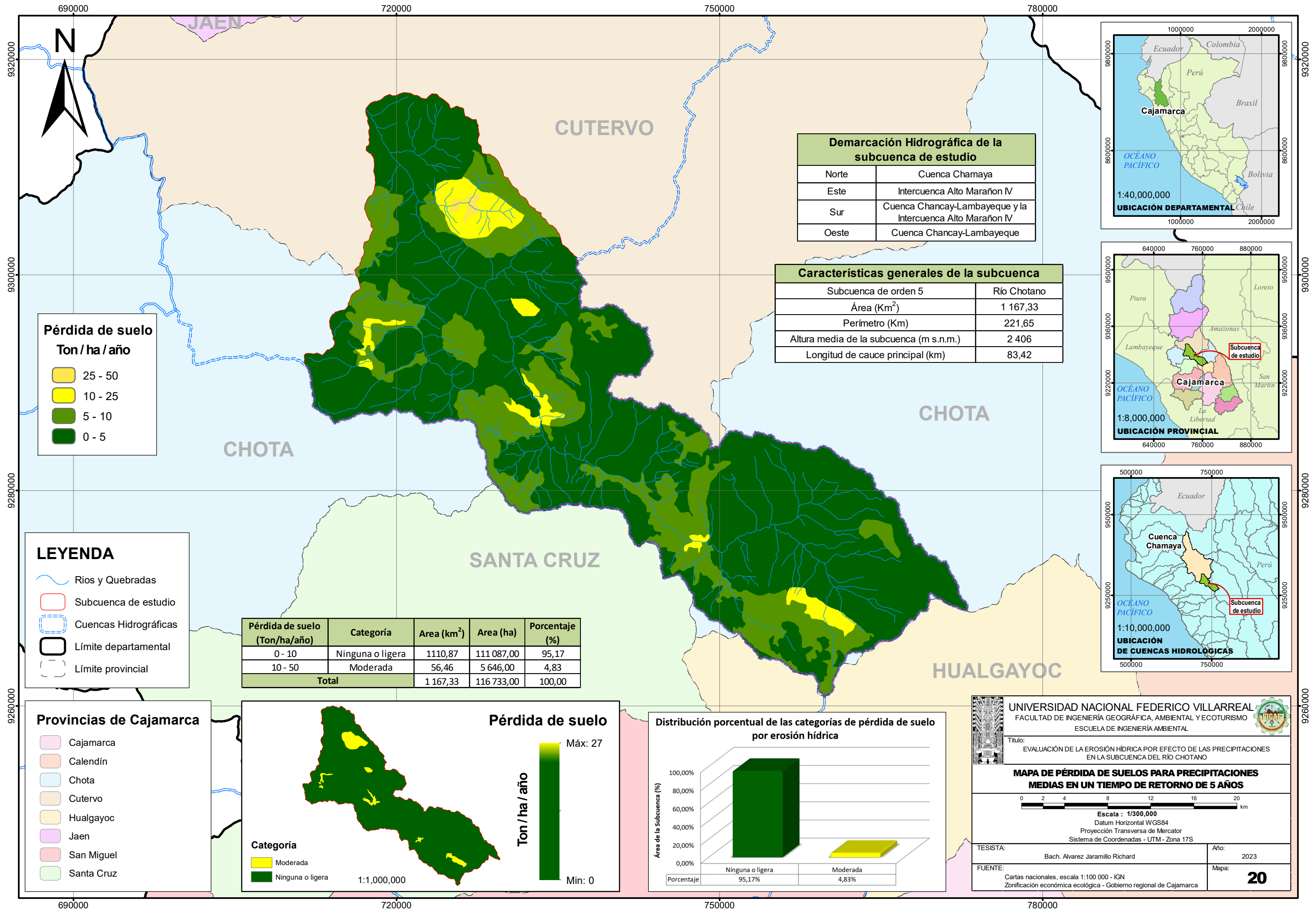
*Clasificación de la erosión potencial de las Pp medias en la subcuenca - TR de 100 años.*

Erosión potencial (Ton/ha/año)	Categoría	Área de la subcuenca		Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
		km <sup>2</sup>	ha		
0 - 5	Ninguna o ligera	49,34	4 934,00	4,23	12,94
5 - 10		101,67	10 167,00	8,71	
10 - 25	Moderada	303,33	30 333,00	25,98	54,25
25 - 50		330,05	33 005,00	28,27	
50 - 100	Alta	321,57	32 157,00	27,55	32,81
100 - 200		61,37	6 137,00	5,26	
<b>Total</b>		1 167,33	116 733,00	100,00	100,00

**Figura 76**

*Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp medias para un TR de 100 años en la subcuenca de estudio.*





**Pérdida de suelo**  
Ton / ha / año

25 - 50
10 - 25
5 - 10
0 - 5

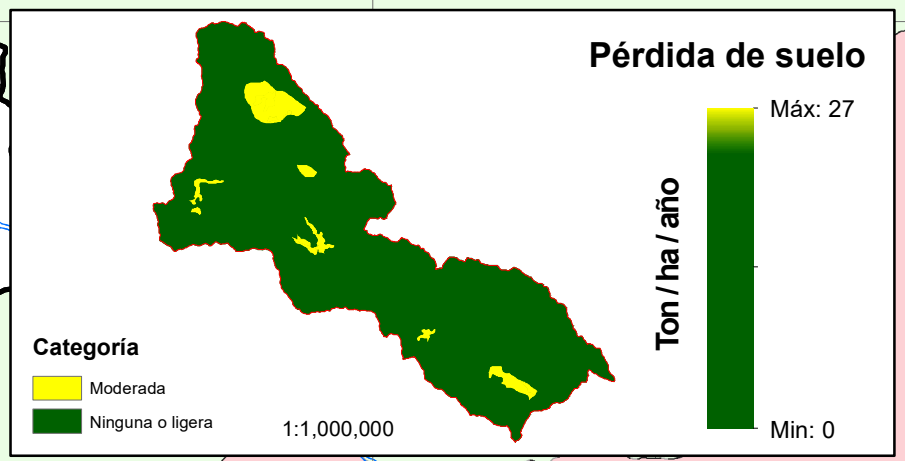
**LEYENDA**

- Rios y Quebradas
- Subcuenca de estudio
- Cuencas Hidrográficas
- Límite departamental
- Límite provincial

**Provincias de Cajamarca**

- Cajamarca
- Calendín
- Chota
- Cutervo
- Hualgayoc
- Jaen
- San Miguel
- Santa Cruz

Pérdida de suelo (Ton/ha/año)	Categoría	Area (km <sup>2</sup> )	Area (ha)	Porcentaje (%)
0 - 10	Ninguna o ligera	1110,87	111 087,00	95,17
10 - 50	Moderada	56,46	5 646,00	4,83
<b>Total</b>		<b>1 167,33</b>	<b>116 733,00</b>	<b>100,00</b>

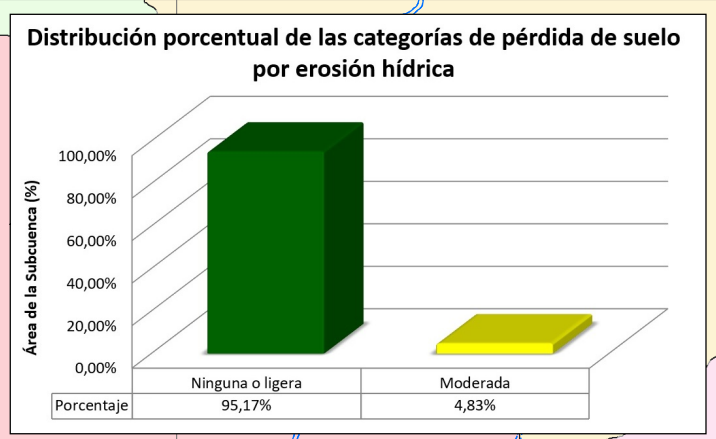
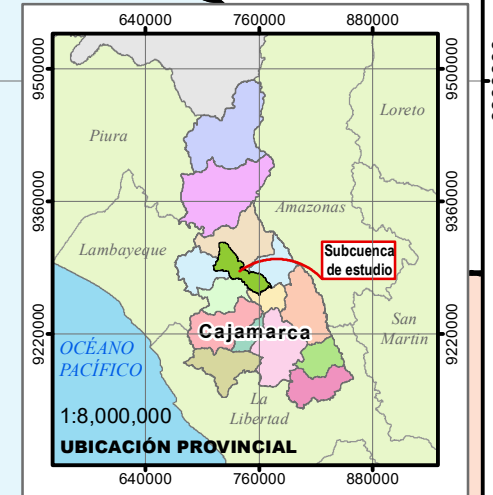


**Demarcación Hidrográfica de la subcuenca de estudio**

Norte	Cuenca Chamaya
Este	Intercuenca Alto Marañón IV
Sur	Cuenca Chancay-Lambayeque y la Intercuenca Alto Marañón IV
Oeste	Cuenca Chancay-Lambayeque

**Características generales de la subcuenca**

Subcuenca de orden 5	Río Chotano
Área (Km <sup>2</sup> )	1 167,33
Perímetro (Km)	221,65
Altura media de la subcuenca (m s.n.m.)	2 406
Longitud de cauce principal (km)	83,42



**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Título:  
EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR EFECTO DE LAS PRECIPITACIONES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHOTANO

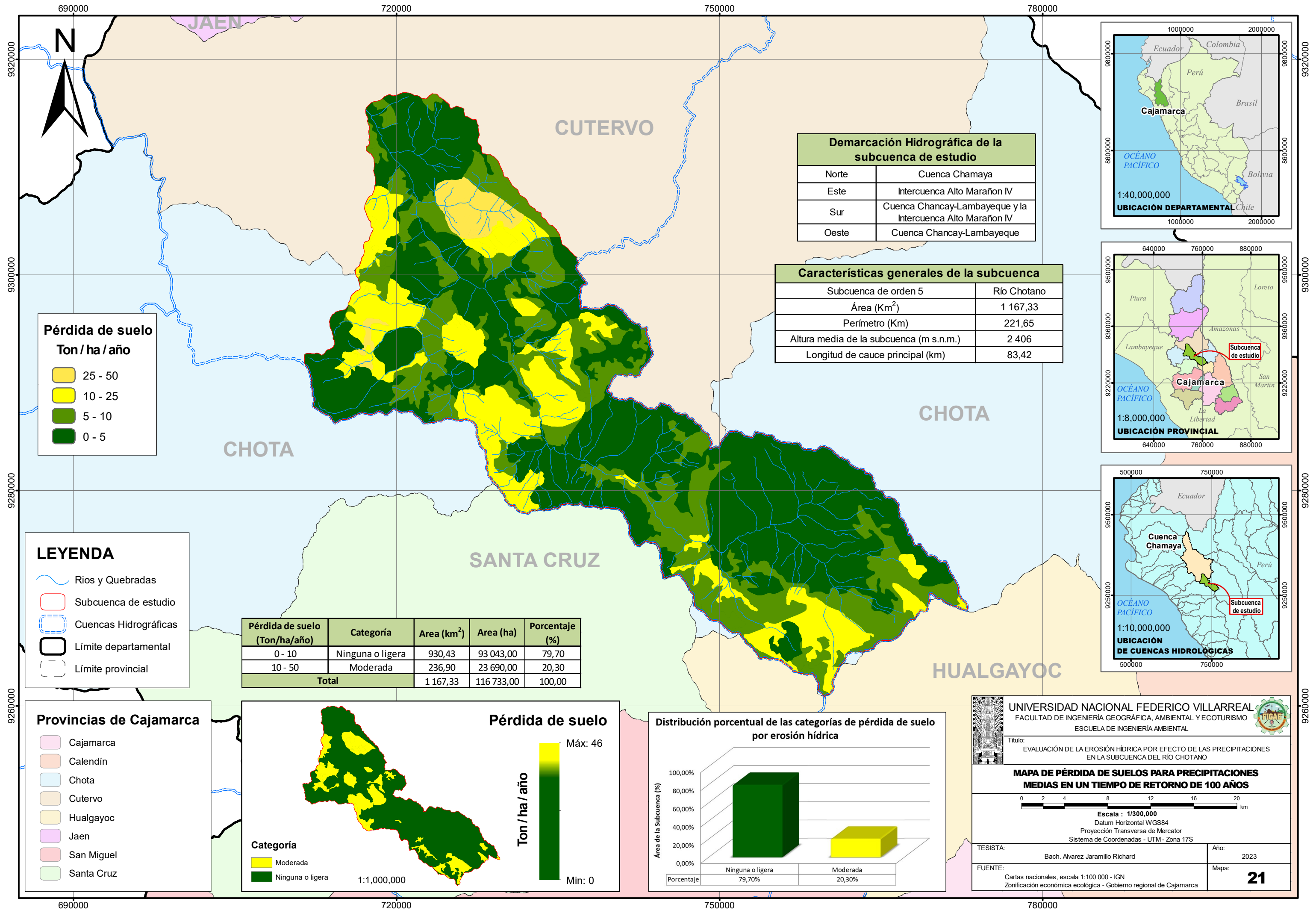
**MAPA DE PÉRDIDA DE SUELOS PARA PRECIPITACIONES MEDIAS EN UN TIEMPO DE RETORNO DE 5 AÑOS**

Escala : 1/300,000  
Datum Horizontal WGS84  
Proyección Transversa de Mercator  
Sistema de Coordenadas - UTM - Zona 17S

TESISTA: Bach. Alvarez Jaramillo Richard      Año: 2023

FUENTE: Cartas nacionales, escala 1:100 000 - IGN  
Zonificación económica ecológica - Gobierno regional de Cajamarca      Mapa: **20**





**Pérdida de suelo**  
Ton / ha / año

25 - 50
10 - 25
5 - 10
0 - 5

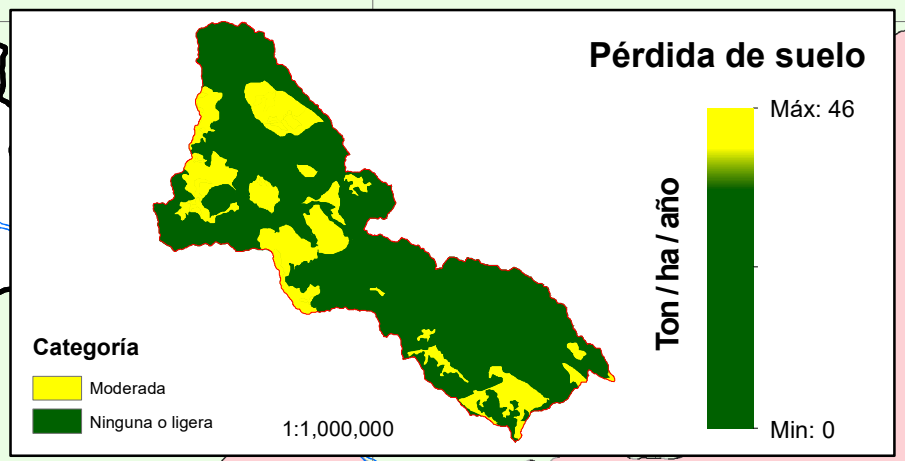
**LEYENDA**

- Rios y Quebradas
- Subcuenca de estudio
- Cuencas Hidrográficas
- Límite departamental
- Límite provincial

**Provincias de Cajamarca**

- Cajamarca
- Calendín
- Chota
- Cutervo
- Hualgayoc
- Jaen
- San Miguel
- Santa Cruz

Pérdida de suelo (Ton/ha/año)	Categoría	Area (km <sup>2</sup> )	Area (ha)	Porcentaje (%)
0 - 10	Ninguna o ligera	930,43	93 043,00	79,70
10 - 50	Moderada	236,90	23 690,00	20,30
<b>Total</b>		<b>1 167,33</b>	<b>116 733,00</b>	<b>100,00</b>

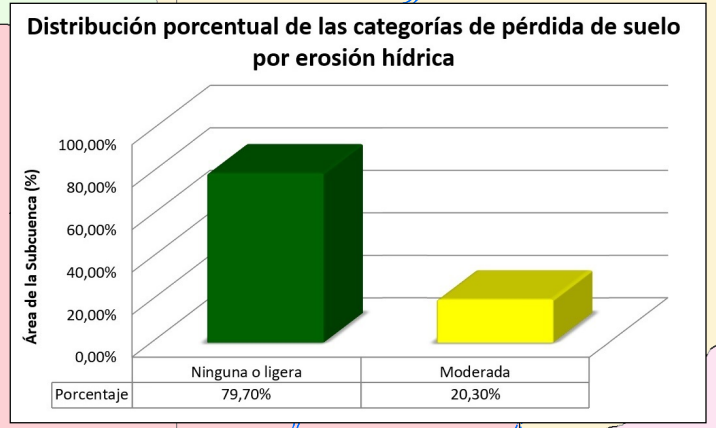
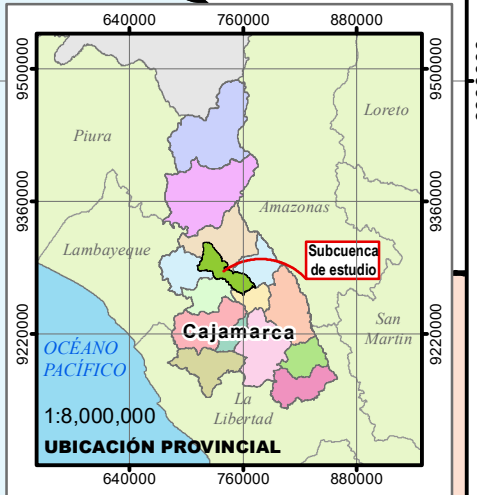


**Demarcación Hidrográfica de la subcuenca de estudio**

Norte	Cuenca Chamaya
Este	Intercuenca Alto Marañón IV
Sur	Cuenca Chancay-Lambayeque y la Intercuenca Alto Marañón IV
Oeste	Cuenca Chancay-Lambayeque

**Características generales de la subcuenca**

Subcuenca de orden 5	Río Chotano
Área (Km <sup>2</sup> )	1 167,33
Perímetro (Km)	221,65
Altura media de la subcuenca (m s.n.m.)	2 406
Longitud de cauce principal (km)	83,42



**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Título:  
EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR EFECTO DE LAS PRECIPITACIONES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHOTANO

**MAPA DE PÉRDIDA DE SUELOS PARA PRECIPITACIONES MEDIAS EN UN TIEMPO DE RETORNO DE 100 AÑOS**

0 2 4 8 12 16 20 km

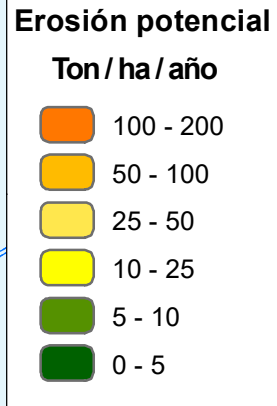
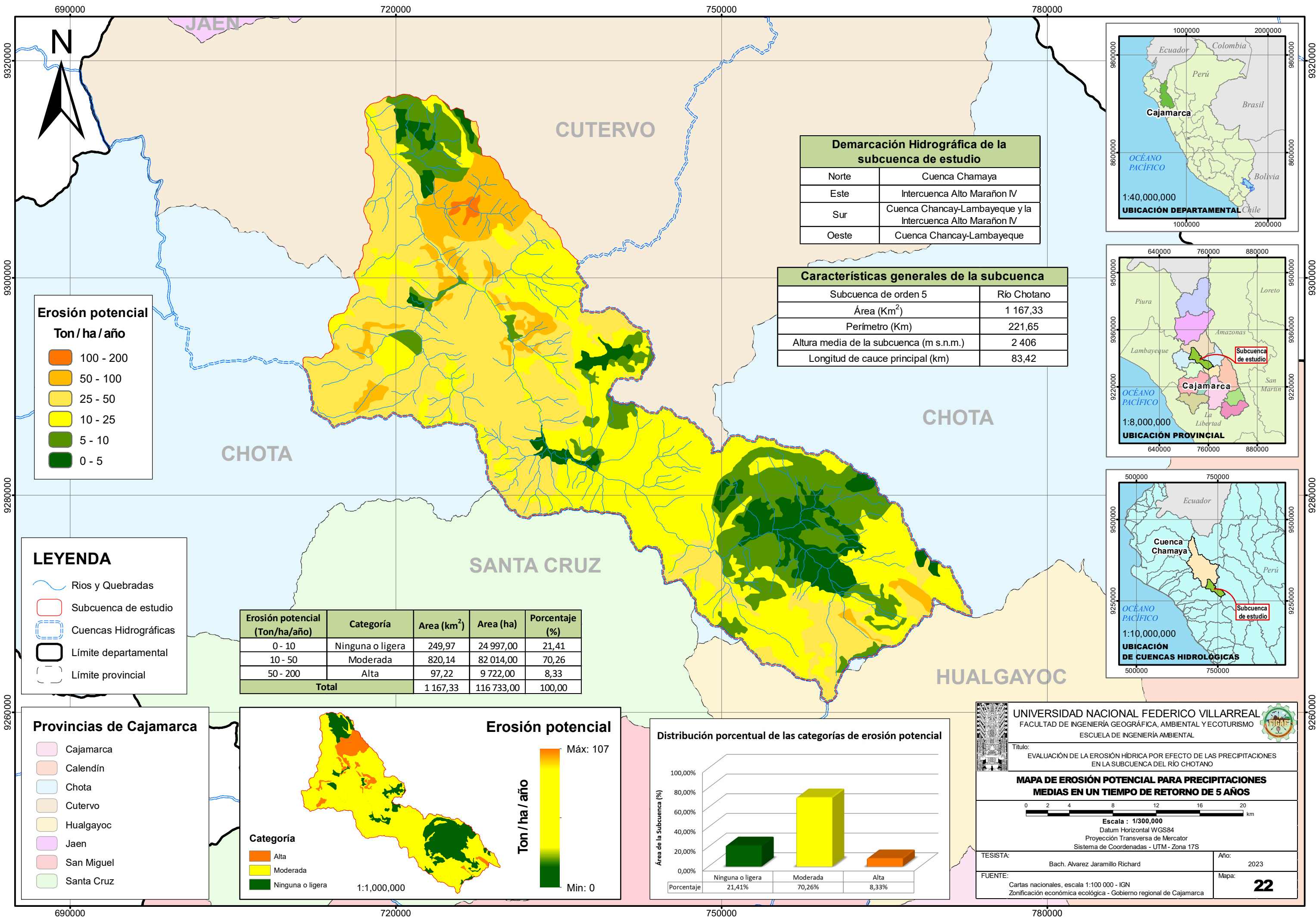
Escala : 1/300,000  
Datum Horizontal WGS84  
Proyección Transversa de Mercator  
Sistema de Coordenadas - UTM - Zona 17S

TESISTA: Bach. Alvarez Jaramillo Richard Año: 2023

FUENTE: Cartas nacionales, escala 1:100 000 - IGN  
Zonificación económica ecológica - Gobierno regional de Cajamarca

Mapa: **21**





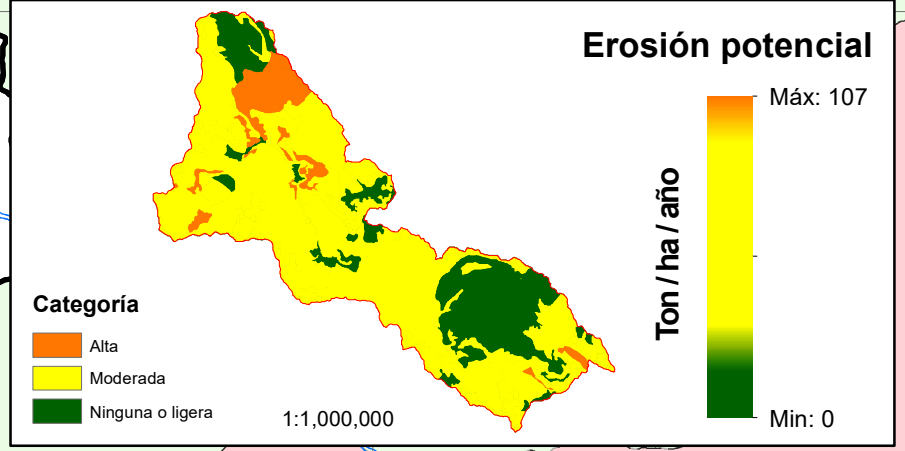
**LEYENDA**

- Ríos y Quebradas
- Subcuenca de estudio
- Cuencas Hidrográficas
- Límite departamental
- Límite provincial

**Provincias de Cajamarca**

- Cajamarca
- Calendín
- Chota
- Cutervo
- Hualgayoc
- Jaen
- San Miguel
- Santa Cruz

Erosión potencial (Ton/ha/año)	Categoría	Area (km <sup>2</sup> )	Area (ha)	Porcentaje (%)
0 - 10	Ninguna o ligera	249,97	24 997,00	21,41
10 - 50	Moderada	820,14	82 014,00	70,26
50 - 200	Alta	97,22	9 722,00	8,33
<b>Total</b>		<b>1 167,33</b>	<b>116 733,00</b>	<b>100,00</b>

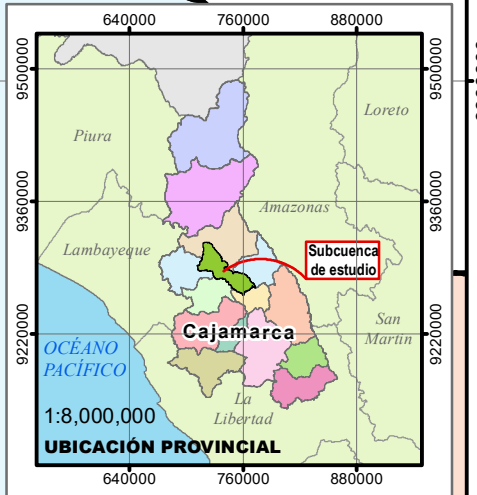
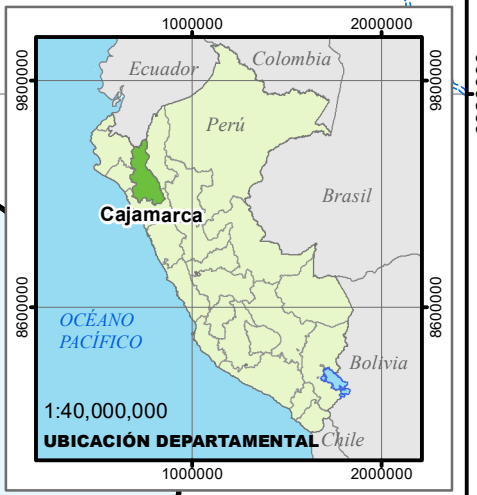


**Demarcación Hidrográfica de la subcuenca de estudio**

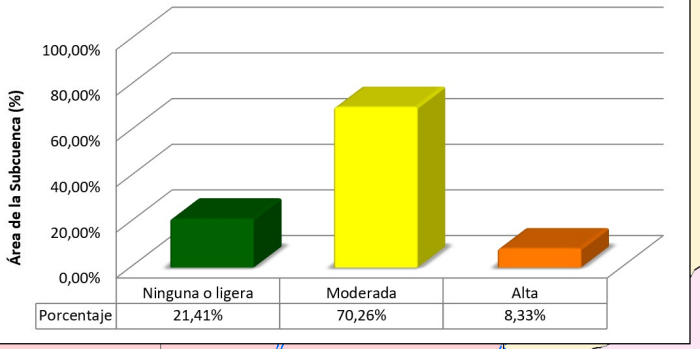
Norte	Cuenca Chamaya
Este	Intercuenca Alto Marañón IV
Sur	Cuenca Chancay-Lambayeque y la Intercuenca Alto Marañón IV
Oeste	Cuenca Chancay-Lambayeque

**Características generales de la subcuenca**

Subcuenca de orden 5	Río Chotano
Área (Km <sup>2</sup> )	1 167,33
Perímetro (Km)	221,65
Altura media de la subcuenca (m s.n.m.)	2 406
Longitud de cauce principal (km)	83,42



**Distribución porcentual de las categorías de erosión potencial**



**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Título:  
EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR EFECTO DE LAS PRECIPITACIONES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHOTANO

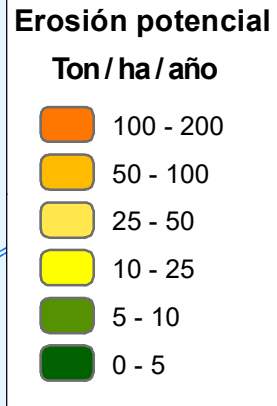
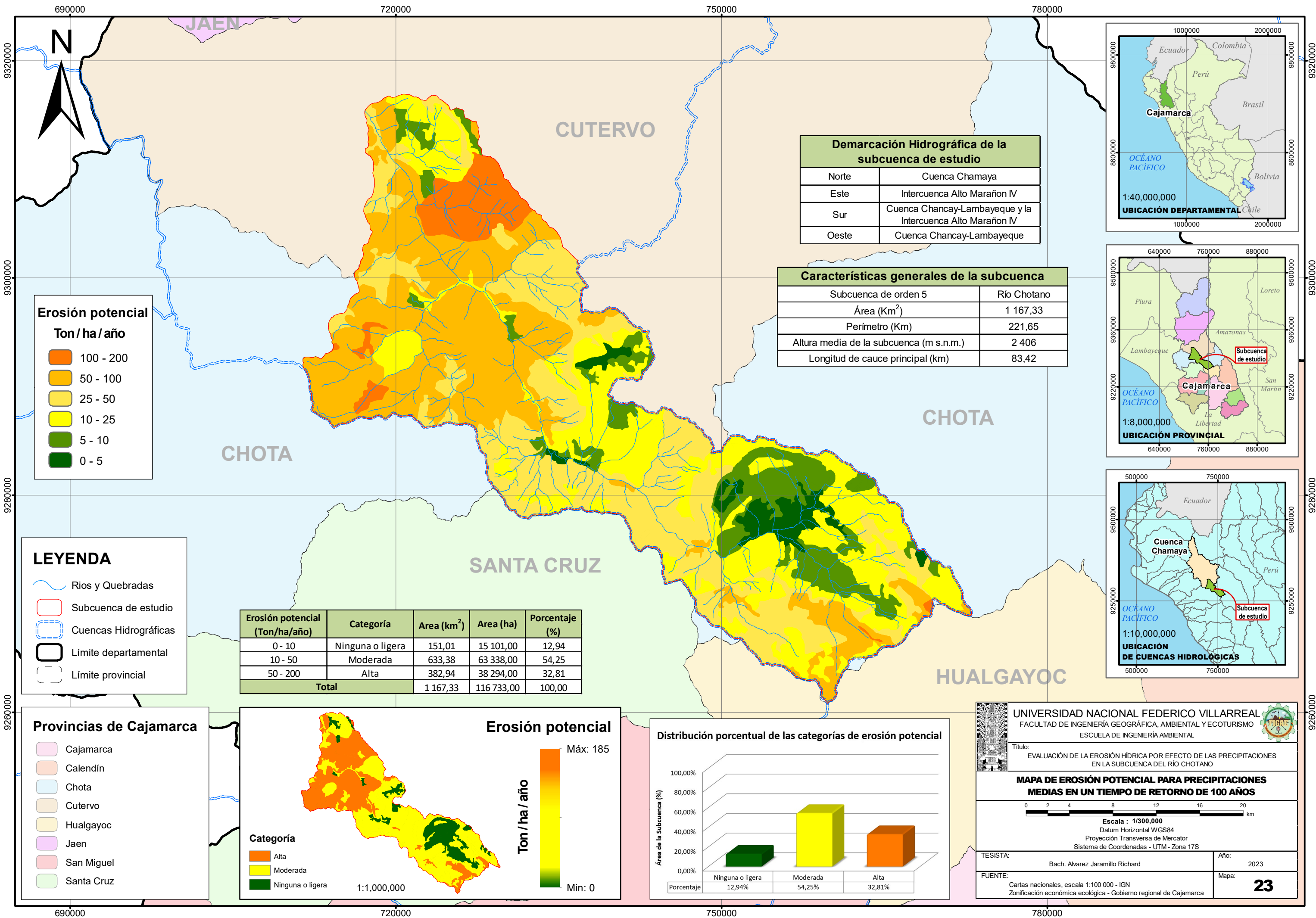
**MAPA DE EROSIÓN POTENCIAL PARA PRECIPITACIONES MEDIAS EN UN TIEMPO DE RETORNO DE 5 AÑOS**

0 2 4 8 12 16 20 km

Escala : 1/300,000  
Datum Horizontal WGS84  
Proyección Transversa de Mercator  
Sistema de Coordenadas - UTM - Zona 17S

TESISTA: Bach. Alvarez Jaramillo Richard Año: 2023

FUENTE: Cartas nacionales, escala 1:100 000 - IGN  
Zonificación económica ecológica - Gobierno regional de Cajamarca Mapa: **22**



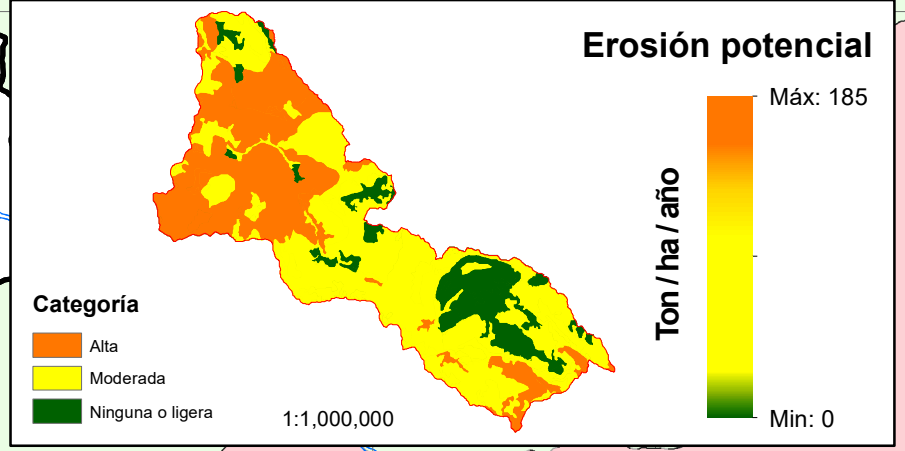
**LEYENDA**

- Rios y Quebradas
- Subcuenca de estudio
- Cuencas Hidrográficas
- Límite departamental
- Límite provincial

**Provincias de Cajamarca**

- Cajamarca
- Calendín
- Chota
- Cutervo
- Hualgayoc
- Jaen
- San Miguel
- Santa Cruz

Erosión potencial (Ton/ha/año)	Categoría	Area (km <sup>2</sup> )	Area (ha)	Porcentaje (%)
0 - 10	Ninguna o ligera	151,01	15 101,00	12,94
10 - 50	Moderada	633,38	63 338,00	54,25
50 - 200	Alta	382,94	38 294,00	32,81
<b>Total</b>		<b>1 167,33</b>	<b>116 733,00</b>	<b>100,00</b>

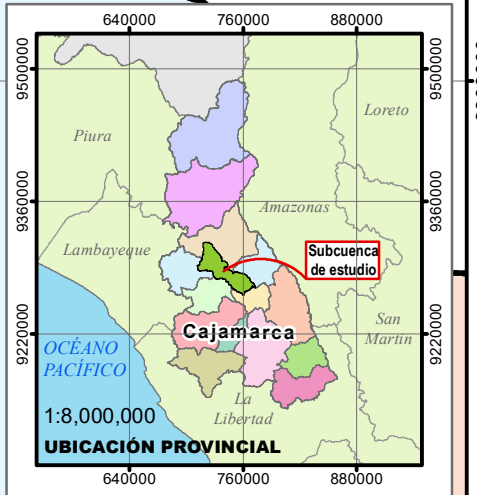


**Demarcación Hidrográfica de la subcuenca de estudio**

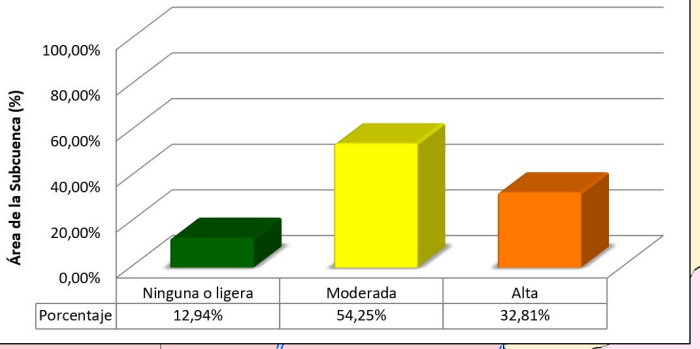
Norte	Cuenca Chamaya
Este	Intercuenca Alto Marañón IV
Sur	Cuenca Chancay-Lambayeque y la Intercuenca Alto Marañón IV
Oeste	Cuenca Chancay-Lambayeque

**Características generales de la subcuenca**

Subcuenca de orden 5	Río Chotano
Área (Km <sup>2</sup> )	1 167,33
Perímetro (Km)	221,65
Altura media de la subcuenca (m s.n.m.)	2 406
Longitud de cauce principal (km)	83,42



**Distribución porcentual de las categorías de erosión potencial**



**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Título:  
EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR EFECTO DE LAS PRECIPITACIONES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHOTANO

**MAPA DE EROSIÓN POTENCIAL PARA PRECIPITACIONES MEDIAS EN UN TIEMPO DE RETORNO DE 100 AÑOS**

0 2 4 8 12 16 20 km

Escala : 1/300,000  
Datum Horizontal WGS84  
Proyección Transversa de Mercator  
Sistema de Coordenadas - UTM - Zona 17S

TESISTA: Bach. Alvarez Jaramillo Richard Año: 2023

FUENTE: Cartas nacionales, escala 1:100 000 - IGN  
Zonificación económica ecológica - Gobierno regional de Cajamarca

Mapa: **23**

#### 4.3.2. Pérdida de suelos y erosión potencial para precipitaciones máximas

Al aplicar la superposición cartográfica mediante la función *Map algebra* del *software ArcGis*, se obtienen los siguientes resultados para las precipitaciones máximas de toda la subcuenca del río Chotano, determinadas mediante el método USLE para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años:

**Tabla 185**

*Pérdida de suelo de las precipitaciones máximas y clasificación de la FAO para diferentes tiempos de retorno en la subcuenca de estudio.*

Tiempo de retorno (TR)	Pérdida de suelo (Ton/ha/año)		Distribución de la clasificación de la FAO en la subcuenca del río Chotano		
	Mínimo	Máximo	Ninguna o ligera	Moderada	Alta
5 años	0,034	87,414	55,39%	42,33%	2,28%
10 años	0,038	103,066	45,78%	51,54%	2,68%
25 años	0,043	122,918	39,39%	57,04%	3,57%
50 años	0,047	137,862	35,70%	60,51%	3,79%
100 años	0,051	152,864	32,21%	63,68%	4,11%

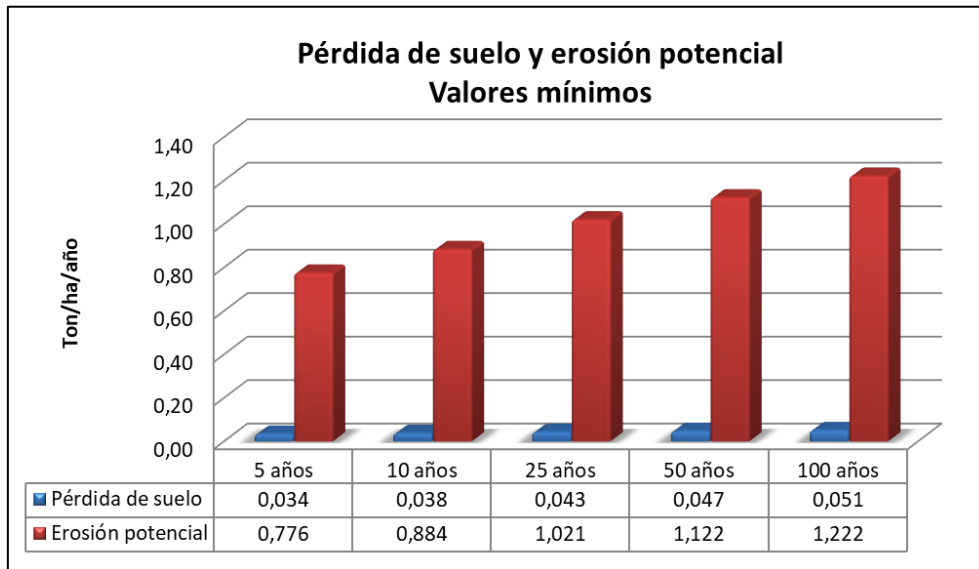
**Tabla 186**

*Erosión potencial de las precipitaciones máximas y clasificación de la FAO para diferentes tiempos de retorno en la subcuenca de estudio.*

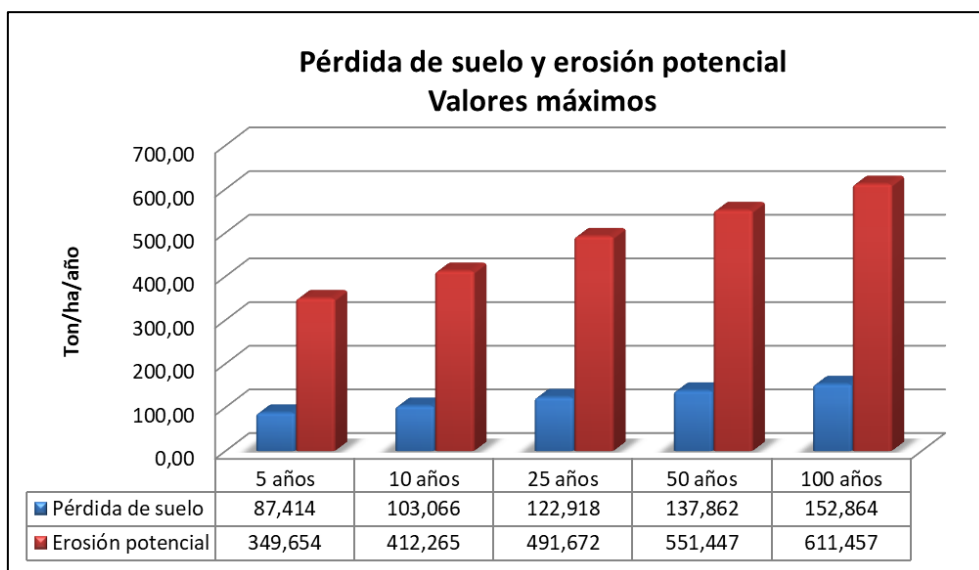
Tiempo de retorno (TR)	Erosión potencial - Pérdida de suelo (Ton/ha/año)		Distribución de la clasificación de la FAO en la subcuenca del río Chotano			
	Mínimo	Máximo	Ninguna o ligera	Moderada	Alta	Muy alta
5 años	0,776	349,654	4,43%	38,57%	53,32%	3,68%
10 años	0,884	412,265	2,64%	30,58%	59,69%	7,09%
25 años	1,021	491,672	1,88%	26,78%	61,28%	10,06%
50 años	1,122	551,447	1,81%	22,05%	65,82%	10,32%
100 años	1,222	611,457	1,77%	21,38%	65,98%	10,87%

**Figura 77**

Valor mínimo de la pérdida de suelo y de la erosión potencial por efecto de las precipitaciones máximas en la subcuenca de estudio.

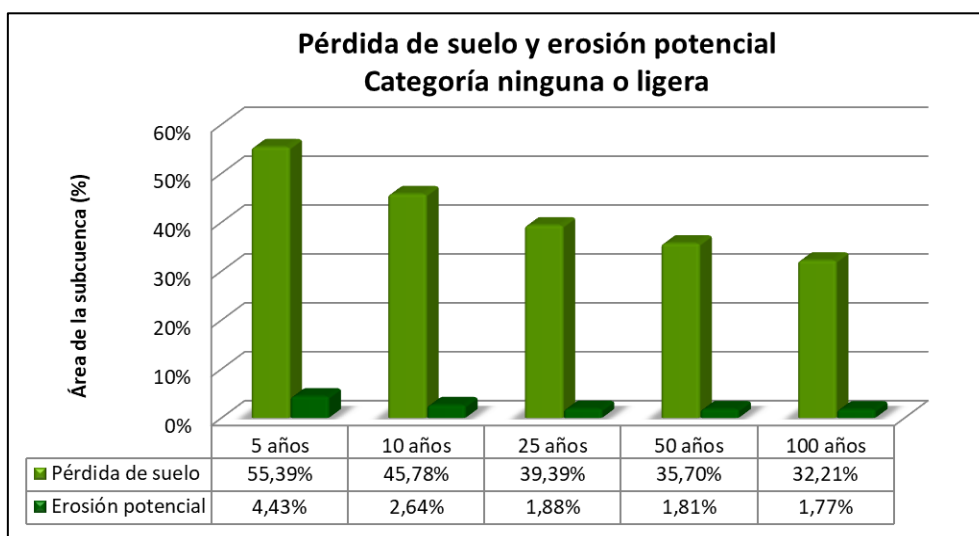
**Figura 78**

Valor máximo de la pérdida de suelo y de la erosión potencial por efecto de las precipitaciones máximas en la subcuenca de estudio.

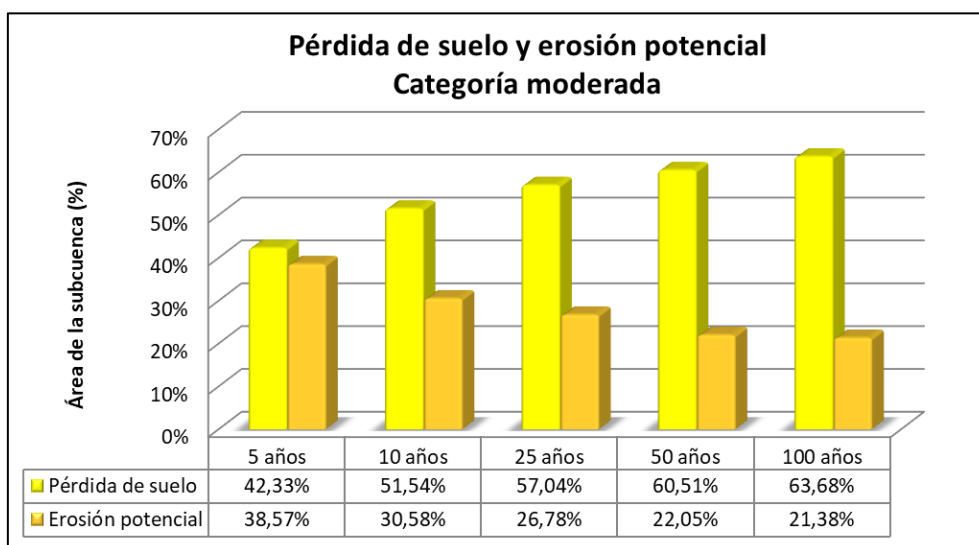


**Figura 79**

Porcentaje de la categoría “ninguna o ligera” de la FAO para la pérdida de suelo y la erosión potencial por efecto de las precipitaciones máximas para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.

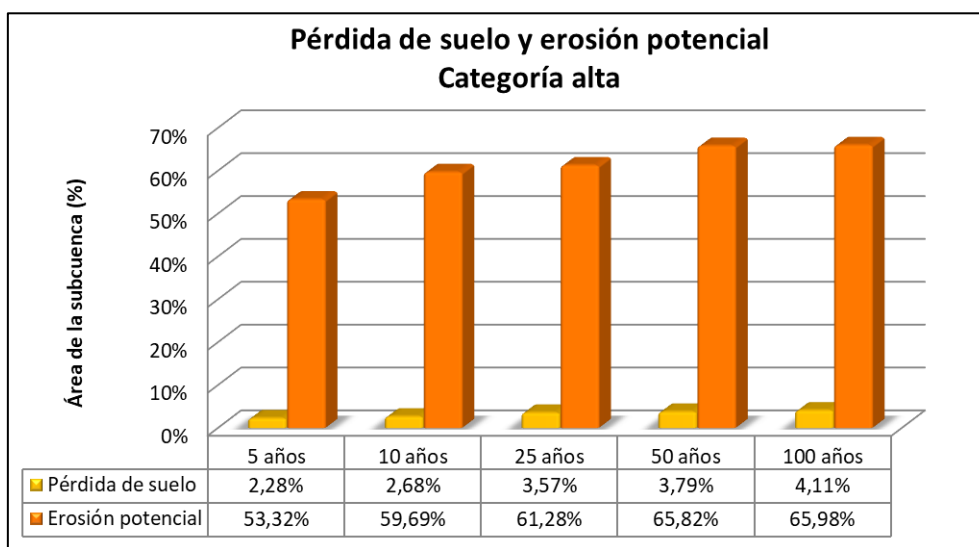
**Figura 80**

Porcentaje de la categoría “moderada” de la FAO para la pérdida de suelo y la erosión potencial por efecto de las precipitaciones máximas para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.

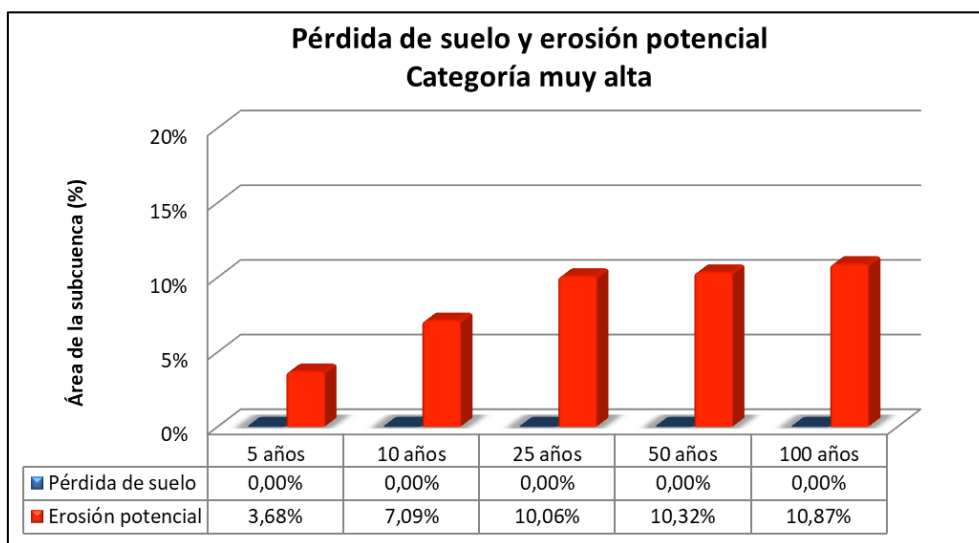


**Figura 81**

Porcentaje de la categoría “alta” de la FAO para la pérdida de suelo y la erosión potencial por efecto de las precipitaciones máximas para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.

**Figura 82**

Porcentaje de la categoría “muy alta” de la FAO para la pérdida de suelo y la erosión potencial por efecto de las precipitaciones máximas para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.





#### 4.3.2.1. Distribución y clasificación de la FAO para la pérdida de suelo y erosión potencial de las Pp máximas en un TR de 5 años para la subcuenca de estudio

**Tabla 187**

*Clasificación de la pérdida de suelo de las Pp máximas en la subcuenca - TR de 5 años.*

Pérdida de suelo (Ton/ha/año)	Categoría	Área de la subcuenca		Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
		km <sup>2</sup>	ha		
0 - 5	Ninguna o ligera	295,90	29 590,00	25,35	55,39
5 - 10		350,62	35 062,00	30,04	
10 - 25	Moderada	433,41	43 341,00	37,13	42,33
25 - 50		60,75	6 075,00	5,20	
50 - 100	Alta	26,65	2 665,00	2,28	2,28
<b>Total</b>		1 167,33	116 733,00	100,00	100,00

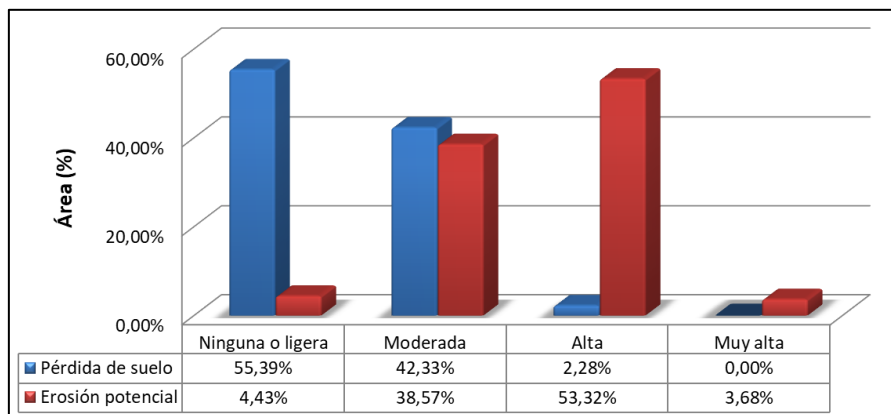
**Tabla 188**

*Clasificación de la erosión potencial de las Pp máximas en la subcuenca - TR de 5 años.*

Erosión potencial (Ton/ha/año)	Categoría	Área de la subcuenca		Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
		km <sup>2</sup>	ha		
0 - 5	Ninguna o ligera	14,29	1 429,00	1,22	4,43
5 - 10		37,43	3 743,00	3,21	
10 - 25	Moderada	163,79	16 379,00	14,03	38,57
25 - 50		286,49	28 649,00	24,54	
50 - 100	Alta	436,17	43 617,00	37,37	53,32
100 - 200		186,16	18 616,00	15,95	
> 200	Muy alta	43,00	4 300,00	3,68	3,68
<b>Total</b>		1 167,33	116 733,00	100,00	100,00

**Figura 83**

*Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp máximas para un TR de 5 años.*



### 4.3.2.2. Distribución y clasificación de la FAO para la pérdida de suelo y erosión potencial de las Pp máximas en un TR de 10 años para la subcuenca de estudio

**Tabla 189**

*Clasificación de la pérdida de suelo de las Pp máximas en la subcuenca - TR de 10 años.*

Pérdida de suelo (Ton/ha/año)	Categoría	Área de la subcuenca		Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
		km <sup>2</sup>	ha		
0 - 5	Ninguna o ligera	245,04	24 504,00	21,00	45,78
5 - 10		289,26	28 926,00	24,78	
10 - 25	Moderada	428,55	42 855,00	36,71	51,54
25 - 50		173,15	17 315,00	14,83	
50 - 100	Alta	27,69	2 769,00	2,37	2,68
100 - 200		3,64	364,00	0,31	
<b>Total</b>		<b>1 167,33</b>	<b>116 733,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

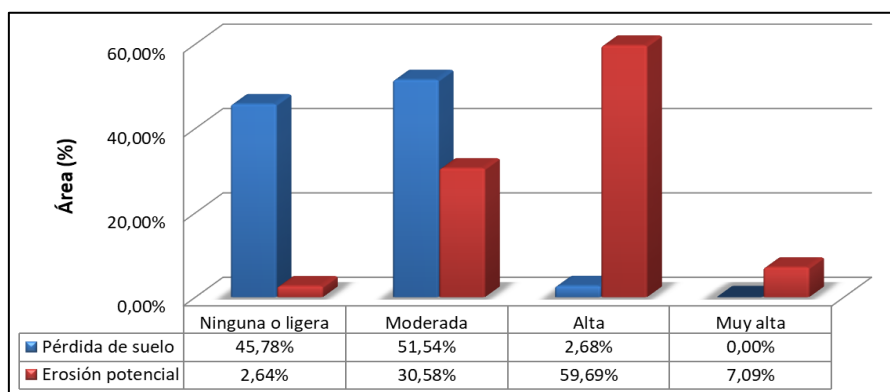
**Tabla 190**

*Clasificación de la erosión potencial de las Pp máximas en la subcuenca - TR de 10 años.*

Erosión potencial (Ton/ha/año)	Categoría	Área de la subcuenca		Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
		km <sup>2</sup>	ha		
0 - 5	Ninguna o ligera	14,29	1 429,00	1,22	2,64
5 - 10		16,61	1 661,00	1,42	
10 - 25	Moderada	125,11	12 511,00	10,72	30,58
25 - 50		231,86	23 186,00	19,86	
50 - 100	Alta	318,62	31 862,00	27,30	59,69
100 - 200		378,09	37 809,00	32,39	
> 200	Muy alta	82,75	8 275,00	7,09	7,09
<b>Total</b>		<b>1 167,33</b>	<b>116 733,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

**Figura 84**

*Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp máximas para un TR de 10 años.*





### 4.3.2.3. Distribución y clasificación de la FAO para la pérdida de suelo y erosión potencial de las Pp máximas en un TR de 25 años para la subcuenca de estudio

**Tabla 191**

*Clasificación de la pérdida de suelo de las Pp máximas en la subcuenca - TR de 25 años.*

Pérdida de suelo (Ton/ha/año)	Categoría	Área de la subcuenca		Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
		km <sup>2</sup>	ha		
0 - 5	Ninguna o ligera	201,47	20 147,00	17,26	39,39
5 - 10		258,29	25 829,00	22,13	
10 - 25	Moderada	449,07	44 907,00	38,47	57,04
25 - 50		216,83	21 683,00	18,57	
50 - 100	Alta	38,03	3 803,00	3,26	3,57
100 - 200		3,64	364,00	0,31	
<b>Total</b>		<b>1 167,33</b>	<b>116 733,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

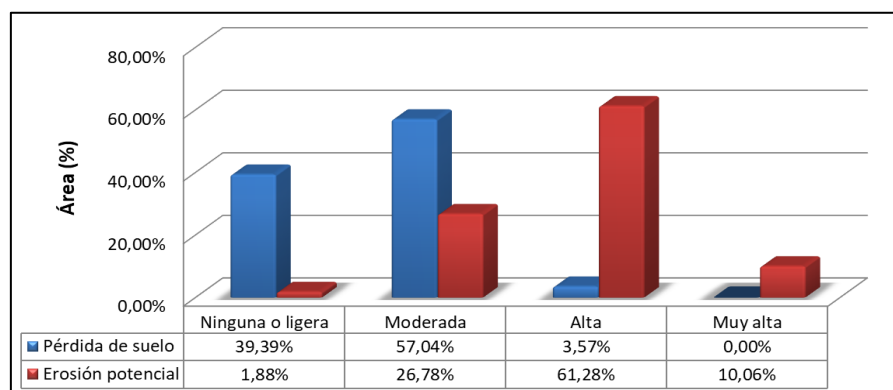
**Tabla 192**

*Clasificación de la erosión potencial de las Pp máximas en la subcuenca - TR de 25 años.*

Erosión potencial (Ton/ha/año)	Categoría	Área de la subcuenca		Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
		km <sup>2</sup>	ha		
0 - 5	Ninguna o ligera	13,78	1 378,00	1,18	1,88
5 - 10		8,18	818,00	0,70	
10 - 25	Moderada	93,84	9 384,00	8,04	26,78
25 - 50		218,71	21 871,00	18,74	
50 - 100	Alta	311,46	31 146,00	26,68	61,28
100 - 200		403,92	40 392,00	34,60	
> 200	Muy alta	117,44	11 744,00	10,06	10,06
<b>Total</b>		<b>1 167,33</b>	<b>116 733,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

**Figura 85**

*Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp máximas para un TR de 25 años.*



#### 4.3.2.4. Distribución y clasificación de la FAO para la pérdida de suelo y erosión potencial de las Pp máximas en un TR de 50 años para la subcuenca de estudio

**Tabla 193**

*Clasificación de la pérdida de suelo de las Pp máximas en la subcuenca - TR de 50 años.*

Pérdida de suelo (Ton/ha/año)	Categoría	Área de la subcuenca		Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
		km <sup>2</sup>	ha		
0 - 5	Ninguna o ligera	177,09	17 709,00	15,17	35,70
5 - 10		239,65	23 965,00	20,53	
10 - 25	Moderada	469,64	46 964,00	40,23	60,51
25 - 50		236,75	23 675,00	20,28	
50 - 100	Alta	40,56	4 056,00	3,48	3,79
100 - 200		3,64	364,00	0,31	
<b>Total</b>		<b>1 167,33</b>	<b>116 733,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

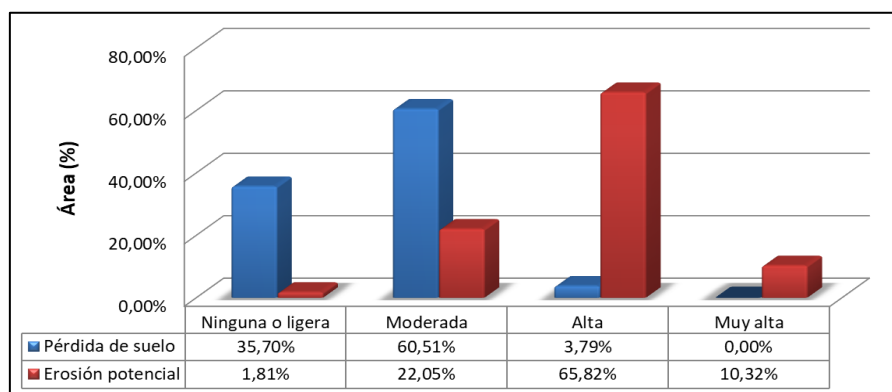
**Tabla 194**

*Clasificación de la erosión potencial de las Pp máximas en la subcuenca - TR de 50 años.*

Erosión potencial (Ton/ha/año)	Categoría	Área de la subcuenca		Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
		km <sup>2</sup>	ha		
0 - 5	Ninguna o ligera	13,16	1 316,00	1,13	1,81
5 - 10		7,89	789,00	0,68	
10 - 25	Moderada	67,68	6 768,00	5,80	22,05
25 - 50		189,68	18 968,00	16,25	
50 - 100	Alta	344,27	34 427,00	29,49	65,82
100 - 200		424,13	42 413,00	36,33	
> 200	Muy alta	120,52	12 052,00	10,32	10,32
<b>Total</b>		<b>1 167,33</b>	<b>116 733,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

**Figura 86**

*Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp máximas para un TR de 50 años.*



#### 4.3.2.5. Distribución y clasificación de la FAO para la pérdida de suelo y erosión potencial de las Pp máximas en un TR de 100 años para la subcuenca de estudio

**Tabla 195**

*Clasificación de la pérdida de suelo de las Pp máximas en la subcuenca - TR de 100 años.*

Pérdida de suelo (Ton/ha/año)	Categoría	Área de la subcuenca		Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
		km <sup>2</sup>	ha		
0 - 5	Ninguna o ligera	150,33	15 033,00	12,88	32,21
5 - 10		225,61	22 561,00	19,33	
10 - 25	Moderada	460,39	46 039,00	39,44	63,68
25 - 50		282,95	28 295,00	24,24	
50 - 100	Alta	44,41	4 441,00	3,80	4,11
100 - 200		3,64	364,00	0,31	
<b>Total</b>		<b>1 167,33</b>	<b>116 733,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

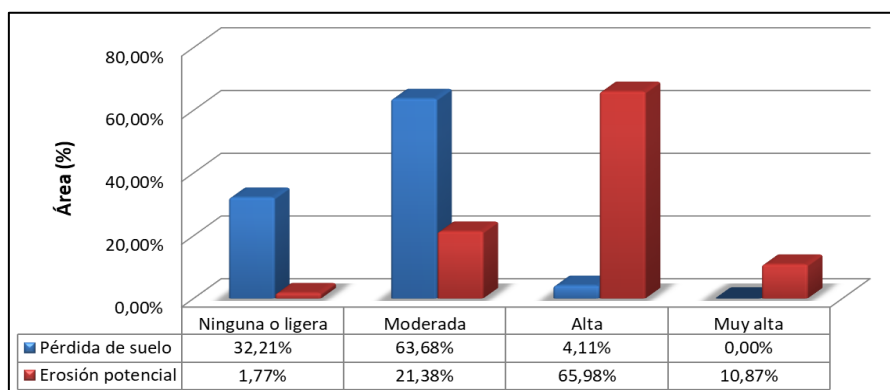
**Tabla 196**

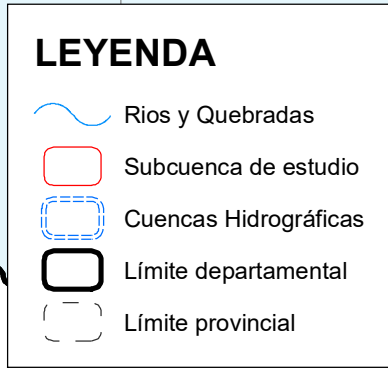
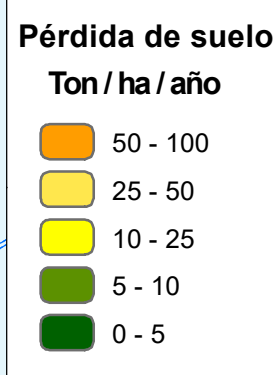
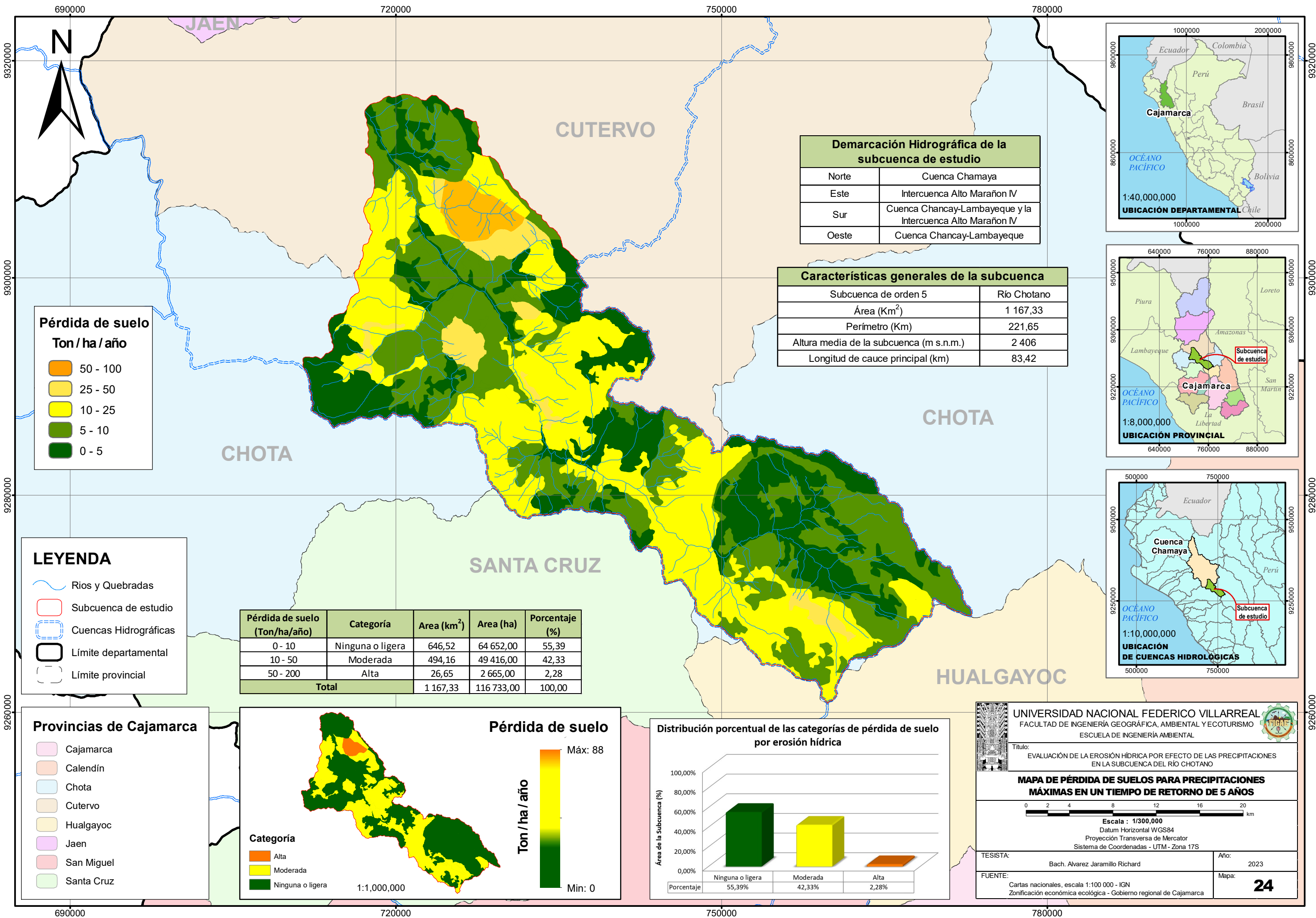
*Clasificación de la erosión potencial de las Pp máximas en la subcuenca - TR de 100 años.*

Erosión potencial (Ton/ha/año)	Categoría	Área de la subcuenca		Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
		km <sup>2</sup>	ha		
0 - 5	Ninguna o ligera	12,03	1 203,00	1,03	1,77
5 - 10		8,68	868,00	0,74	
10 - 25	Moderada	65,53	6 553,00	5,61	21,38
25 - 50		184,13	18 413,00	15,77	
50 - 100	Alta	332,86	33 286,00	28,52	65,98
100 - 200		437,25	43 725,00	37,46	
> 200	Muy alta	126,85	12 685,00	10,87	10,87
<b>Total</b>		<b>1 167,33</b>	<b>116 733,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

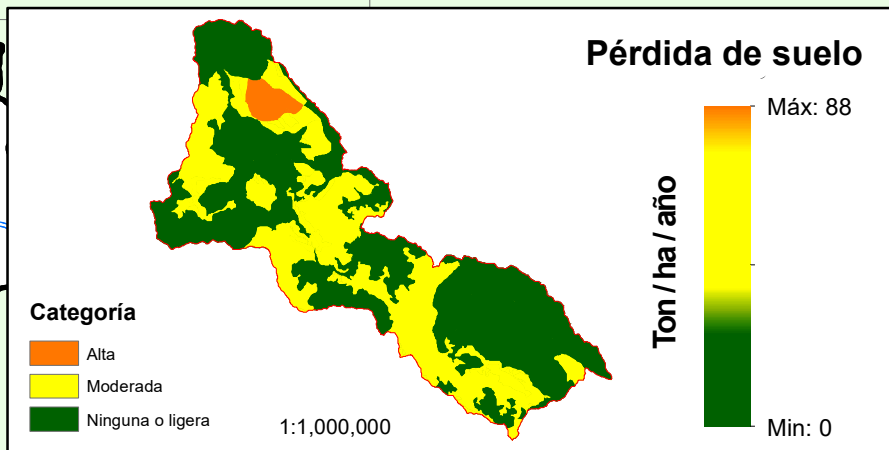
**Figura 87**

*Pérdida de suelo y erosión potencial por efecto de las Pp máximas para un TR de 100 años.*





Pérdida de suelo (Ton/ha/año)	Categoría	Area (km <sup>2</sup> )	Area (ha)	Porcentaje (%)
0 - 10	Ninguna o ligera	646,52	64 652,00	55,39
10 - 50	Moderada	494,16	49 416,00	42,33
50 - 200	Alta	26,65	2 665,00	2,28
<b>Total</b>		<b>1 167,33</b>	<b>116 733,00</b>	<b>100,00</b>

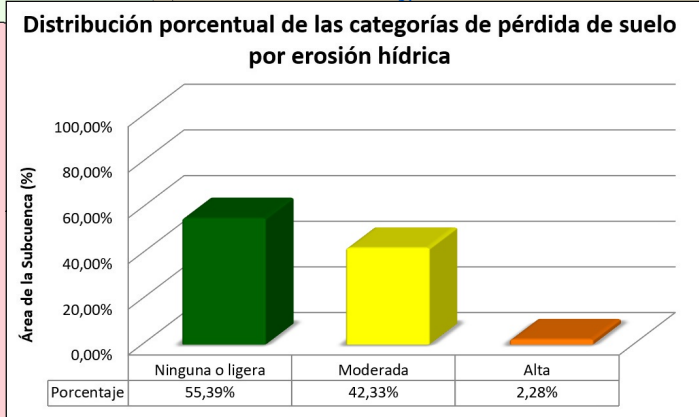
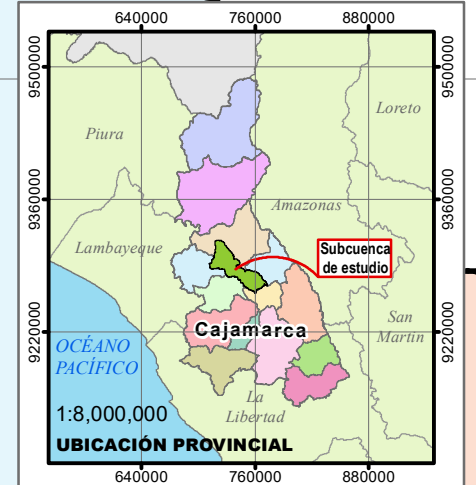
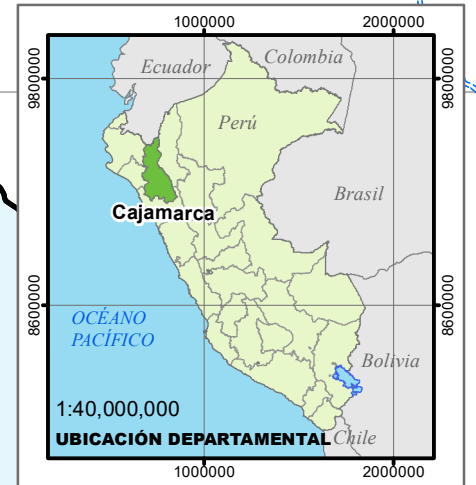


**Demarcación Hidrográfica de la subcuenca de estudio**

Norte	Cuenca Chamaya
Este	Intercuenca Alto Marañón IV
Sur	Cuenca Chancay-Lambayeque y la Intercuenca Alto Marañón IV
Oeste	Cuenca Chancay-Lambayeque

**Características generales de la subcuenca**

Subcuenca de orden 5	Río Chotano
Área (Km <sup>2</sup> )	1 167,33
Perímetro (Km)	221,65
Altura media de la subcuenca (m s.n.m.)	2 406
Longitud de cauce principal (km)	83,42



**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Título:  
EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR EFECTO DE LAS PRECIPITACIONES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHOTANO

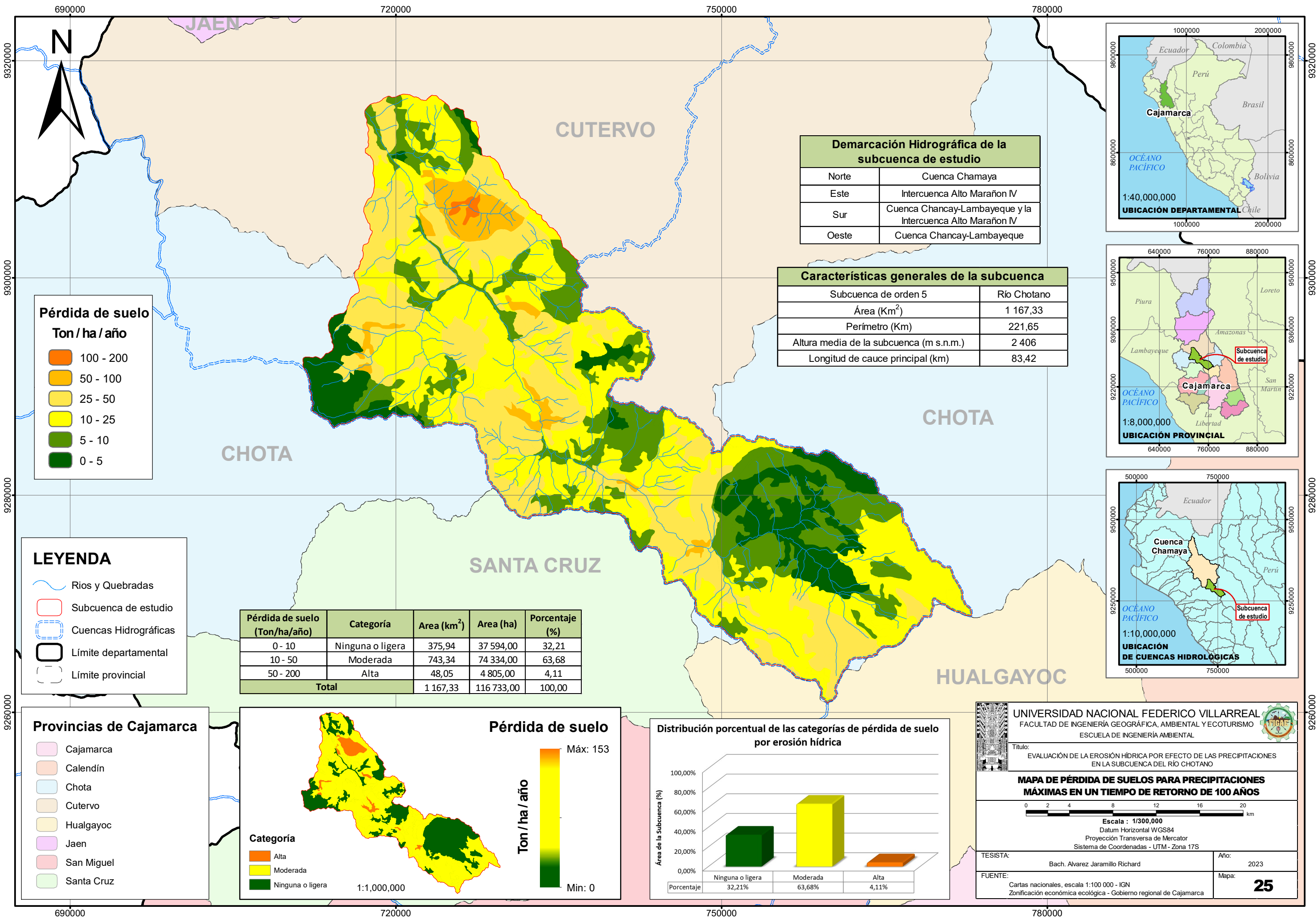
**MAPA DE PÉRDIDA DE SUELOS PARA PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN UN TIEMPO DE RETORNO DE 5 AÑOS**

0 2 4 8 12 16 20 km

Escala : 1/300,000  
Datum Horizontal WGS84  
Proyección Transversa de Mercator  
Sistema de Coordenadas - UTM - Zona 17S

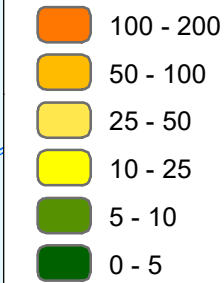
TESISTA: Bach. Alvarez Jaramillo Richard Año: 2023

FUENTE: Cartas nacionales, escala 1:100 000 - IGN  
Zonificación económica ecológica - Gobierno regional de Cajamarca Mapa: **24**



**Pérdida de suelo**

**Ton / ha / año**



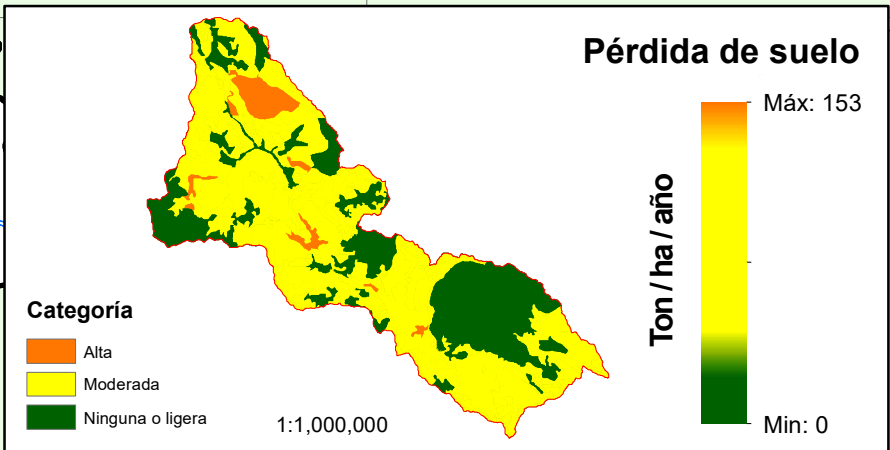
**LEYENDA**

- Rios y Quebradas
- Subcuenca de estudio
- Cuencas Hidrográficas
- Límite departamental
- Límite provincial

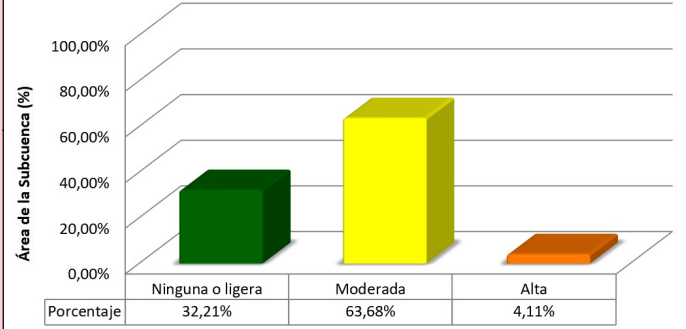
**Provincias de Cajamarca**

- Cajamarca
- Calendín
- Chota
- Cutervo
- Hualgayoc
- Jaen
- San Miguel
- Santa Cruz

Pérdida de suelo (Ton/ha/año)	Categoría	Area (km <sup>2</sup> )	Area (ha)	Porcentaje (%)
0 - 10	Ninguna o ligera	375,94	37 594,00	32,21
10 - 50	Moderada	743,34	74 334,00	63,68
50 - 200	Alta	48,05	4 805,00	4,11
<b>Total</b>		<b>1 167,33</b>	<b>116 733,00</b>	<b>100,00</b>



**Distribución porcentual de las categorías de pérdida de suelo por erosión hídrica**



**Demarcación Hidrográfica de la subcuenca de estudio**

Norte	Cuenca Chamaya
Este	Intercuenca Alto Marañón IV
Sur	Cuenca Chancay-Lambayeque y la Intercuenca Alto Marañón IV
Oeste	Cuenca Chancay-Lambayeque

**Características generales de la subcuenca**

Subcuenca de orden 5	Río Chotano
Área (Km <sup>2</sup> )	1 167,33
Perímetro (Km)	221,65
Altura media de la subcuenca (m s.n.m.)	2 406
Longitud de cauce principal (km)	83,42



**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Título:  
 EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR EFECTO DE LAS PRECIPITACIONES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHOTANO

**MAPA DE PÉRDIDA DE SUELOS PARA PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN UN TIEMPO DE RETORNO DE 100 AÑOS**

0 2 4 8 12 16 20 km

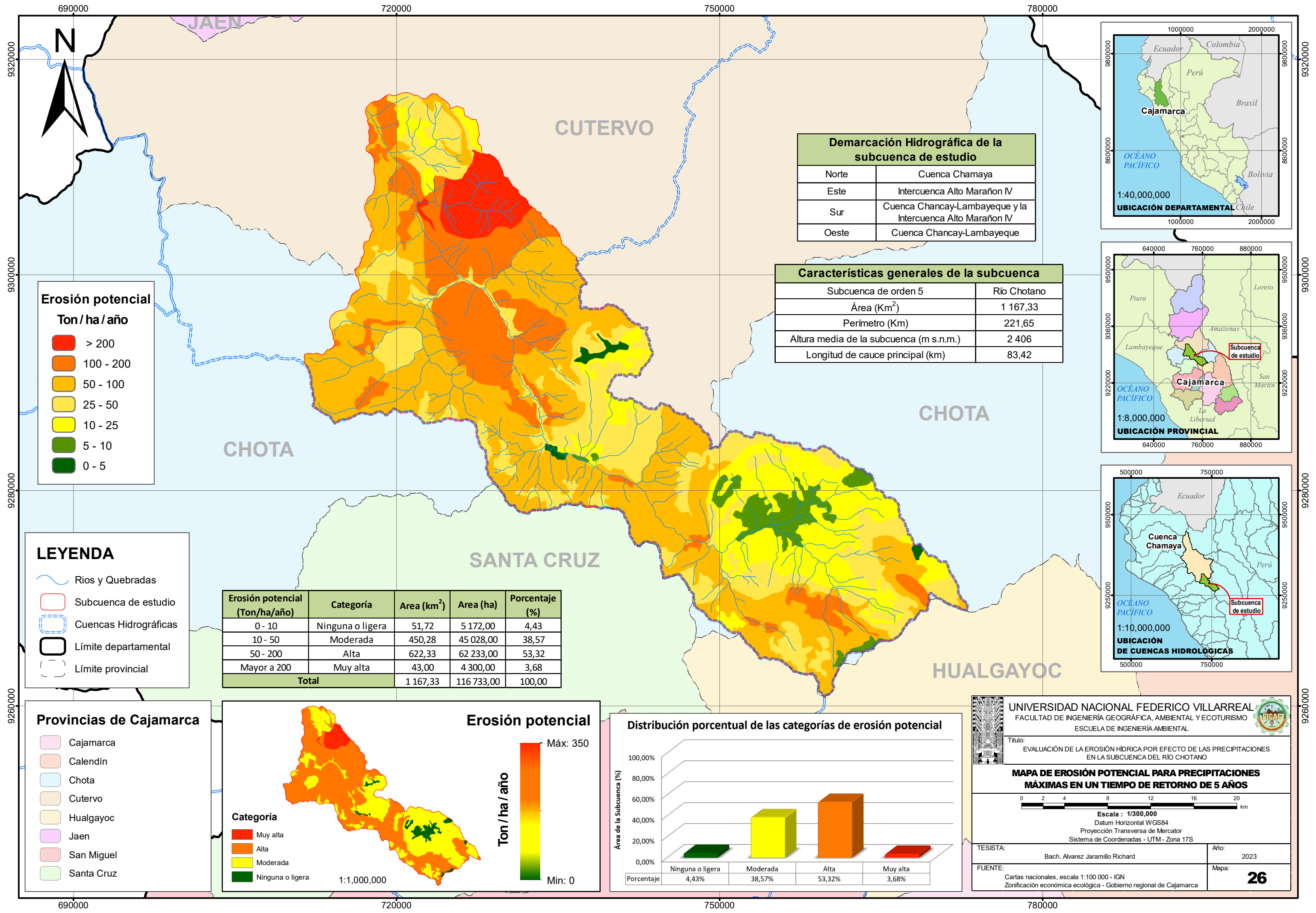
Escala : 1/300,000  
 Datum Horizontal WGS84  
 Proyección Transversa de Mercator  
 Sistema de Coordenadas - UTM - Zona 17S

TESISTA: Bach. Alvarez Jaramillo Richard Año: 2023

FUENTE: Cartas nacionales, escala 1:100 000 - IGN  
 Zonificación económica ecológica - Gobierno regional de Cajamarca

Mapa: **25**





**Erosión potencial**  
Ton / ha / año

Red	> 200
Orange	100 - 200
Yellow-Orange	50 - 100
Yellow	25 - 50
Light Green	10 - 25
Green	5 - 10
Dark Green	0 - 5

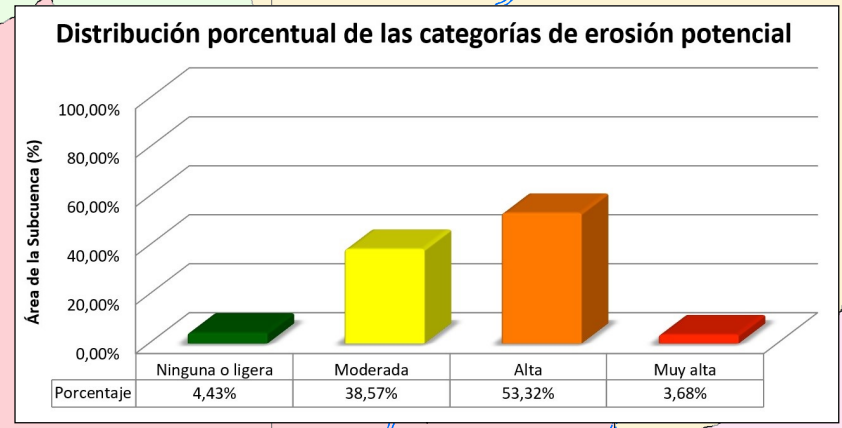
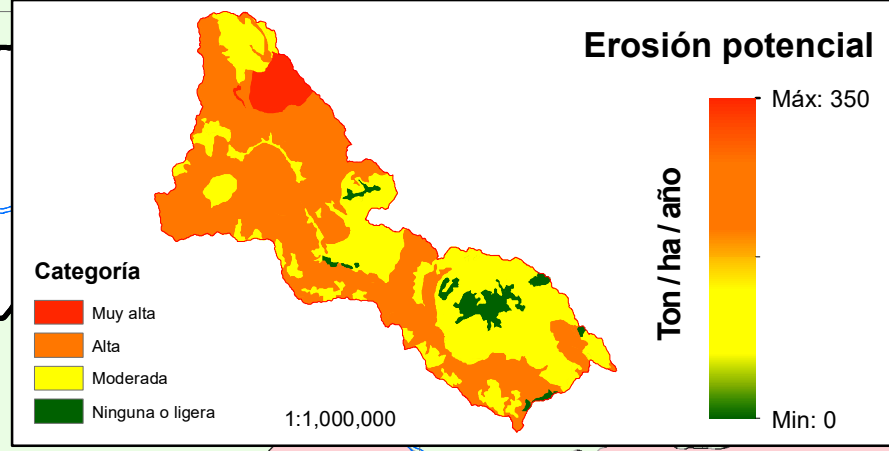
**LEYENDA**

- Rios y Quebradas
- Subcuenca de estudio
- Cuencas Hidrográficas
- Límite departamental
- Límite provincial

**Provincias de Cajamarca**

- Cajamarca
- Calendín
- Chota
- Cutervo
- Hualgayoc
- Jaen
- San Miguel
- Santa Cruz

Erosión potencial (Ton/ha/año)	Categoría	Area (km <sup>2</sup> )	Area (ha)	Porcentaje (%)
0 - 10	Ninguna o ligera	51,72	5 172,00	4,43
10 - 50	Moderada	450,28	45 028,00	38,57
50 - 200	Alta	622,33	62 233,00	53,32
Mayor a 200	Muy alta	43,00	4 300,00	3,68
<b>Total</b>		<b>1 167,33</b>	<b>116 733,00</b>	<b>100,00</b>

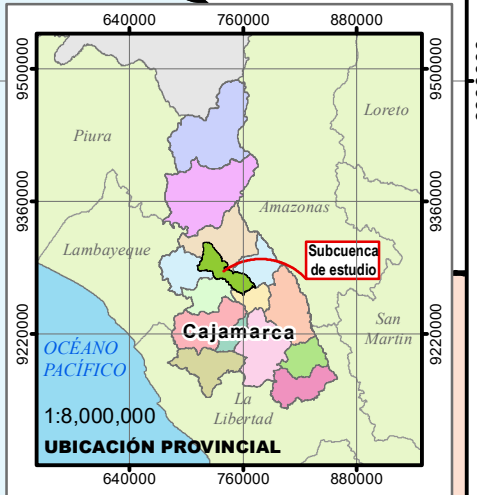


**Demarcación Hidrográfica de la subcuenca de estudio**

Norte	Cuenca Chamaya
Este	Intercuenca Alto Marañón IV
Sur	Cuenca Chancay-Lambayeque y la Intercuenca Alto Marañón IV
Oeste	Cuenca Chancay-Lambayeque

**Características generales de la subcuenca**

Subcuenca de orden 5	Río Chotano
Área (Km <sup>2</sup> )	1 167,33
Perímetro (Km)	221,65
Altura media de la subcuenca (m s.n.m.)	2 406
Longitud de cauce principal (km)	83,42



**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Título:  
EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR EFECTO DE LAS PRECIPITACIONES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHOTANO

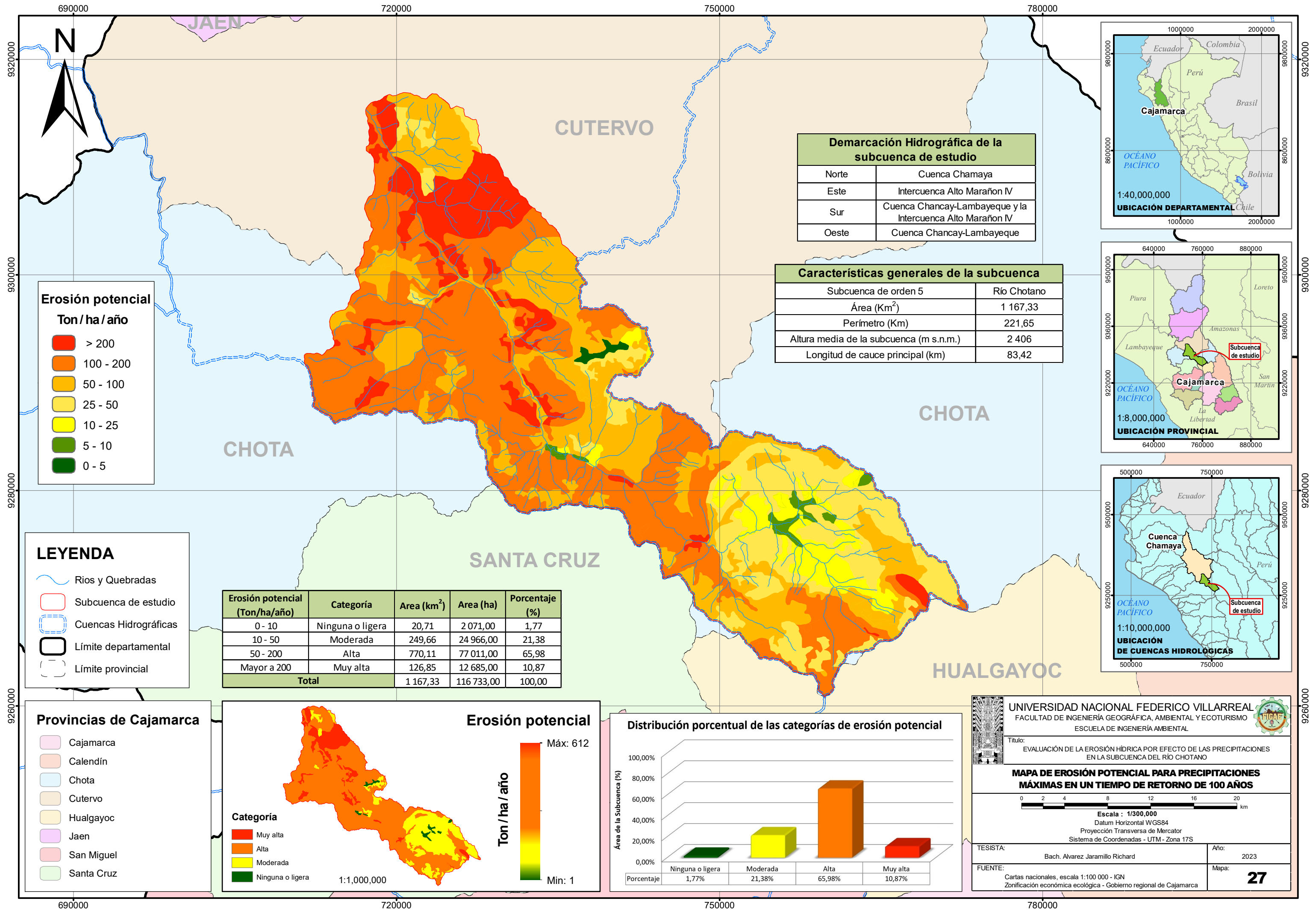
**MAPA DE EROSIÓN POTENCIAL PARA PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN UN TIEMPO DE RETORNO DE 5 AÑOS**

Escala : 1/300,000  
Datum Horizontal WGS84  
Proyección Transversa de Mercator  
Sistema de Coordenadas - UTM - Zona 17S

TESISTA: Bach. Alvarez Jaramillo Richard Año: 2023

FUENTE: Cartas nacionales, escala 1:100 000 - IGN  
Zonificación económica ecológica - Gobierno regional de Cajamarca

Mapa: **26**



**Erosión potencial**  
Ton / ha / año

> 200
100 - 200
50 - 100
25 - 50
10 - 25
5 - 10
0 - 5

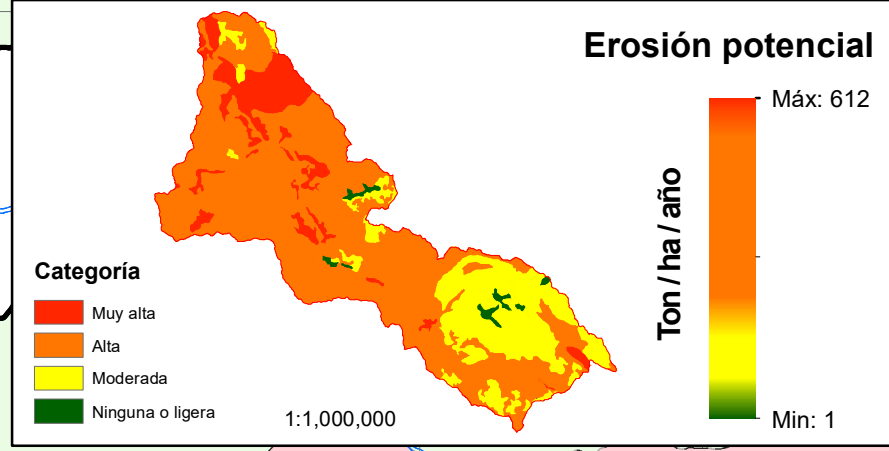
**LEYENDA**

- Rios y Quebradas
- Subcuenca de estudio
- Cuencas Hidrográficas
- Límite departamental
- Límite provincial

**Provincias de Cajamarca**

- Cajamarca
- Calendín
- Chota
- Cutervo
- Hualgayoc
- Jaen
- San Miguel
- Santa Cruz

Erosión potencial (Ton/ha/año)	Categoría	Area (km <sup>2</sup> )	Area (ha)	Porcentaje (%)
0 - 10	Ninguna o ligera	20,71	2 071,00	1,77
10 - 50	Moderada	249,66	24 966,00	21,38
50 - 200	Alta	770,11	77 011,00	65,98
Mayor a 200	Muy alta	126,85	12 685,00	10,87
<b>Total</b>		<b>1 167,33</b>	<b>116 733,00</b>	<b>100,00</b>

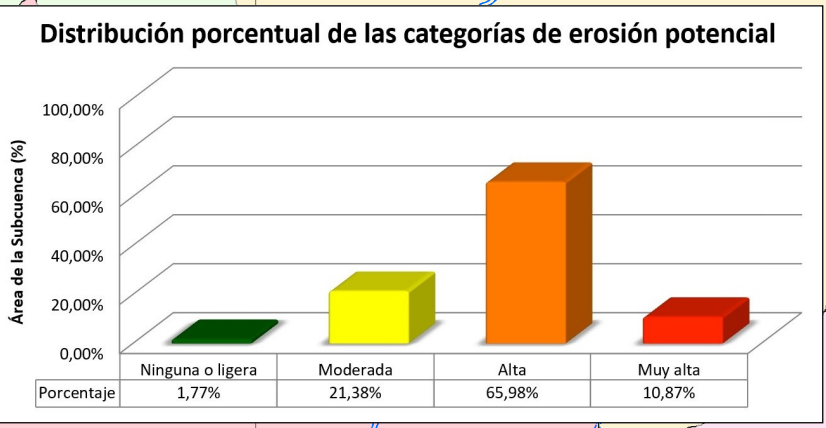
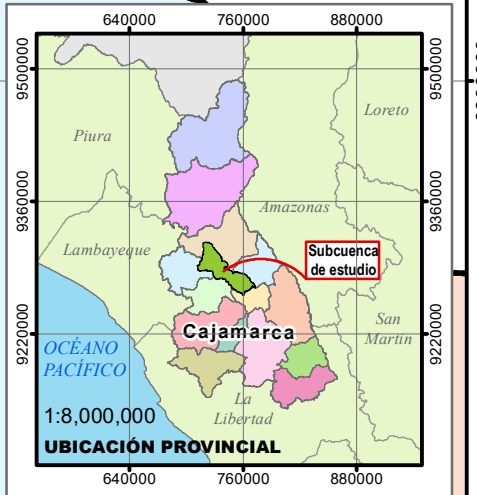


**Demarcación Hidrográfica de la subcuenca de estudio**

Norte	Cuenca Chamaya
Este	Intercuenca Alto Marañón IV
Sur	Cuenca Chancay-Lambayeque y la Intercuenca Alto Marañón IV
Oeste	Cuenca Chancay-Lambayeque

**Características generales de la subcuenca**

Subcuenca de orden 5	Río Chotano
Área (Km <sup>2</sup> )	1 167,33
Perímetro (Km)	221,65
Altura media de la subcuenca (m s.n.m.)	2 406
Longitud de cauce principal (km)	83,42



**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Título:  
EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR EFECTO DE LAS PRECIPITACIONES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHOTANO

**MAPA DE EROSIÓN POTENCIAL PARA PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN UN TIEMPO DE RETORNO DE 100 AÑOS**

Escala : 1/300,000  
Datum Horizontal WGS84  
Proyección Transversa de Mercator  
Sistema de Coordenadas - UTM - Zona 17S

TESISTA: Bach. Alvarez Jaramillo Richard      Año: 2023

FUENTE: Cartas nacionales, escala 1:100 000 - IGN  
Zonificación económica ecológica - Gobierno regional de Cajamarca      Mapa: **27**

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para calcular la pérdida de suelo por erosión hídrica se optó por utilizar el método de la ecuación USLE; otros autores han calculado la pérdida de suelos con este método, por ejemplo, **Ramos (2001)** estima la tasa de erosión de suelos en la cuenca media y alta del río Cañete a partir de los datos del SIG, obteniendo como resultado que el 84,87% del área de estudio tiene pérdidas importantes de suelo; y **Colque (2015)** categoriza la erosión hídrica en la microcuenca de Ranrahirca en Ancash, determinando que predomina la categoría ninguno a ligera en el 73,82% de la microcuenca, la categoría moderada el 8,25%, la categoría alta el 9,69% y la categoría muy alta solo en un 8,24%.

En comparación con ambos autores, para la presente investigación, al aplicar la ecuación USLE para precipitaciones medias, en la *Tabla 173* se observa para un tiempo de retorno de 5 años una pérdida de suelo ligera en el 95,17% del área y moderada en el 4,83% restante, datos que varían hasta un tiempo de retorno de 100 años, donde la pérdida de suelo ligera disminuye hasta el 79,70% del área y la moderada aumenta hasta el 20,30% restante. Esta información difiere de los resultados de Ramos y guarda cierta similitud con los resultados de Colque, principalmente porque la cuenca del río Cañete al ubicarse en una zona costera predomina la vegetación escasa, mientras que la microcuenca de Ranrahirca y la subcuenca del río Chotano se ubican en una zona andina con presencia de cobertura vegetal moderada; asimismo, para la subcuenca de estudio, el área que corresponde solo a la escasa cobertura vegetal que predispone al suelo a la erosión hídrica es del 4,11% (ver *Tabla 29*).

**Fattorelli y Fernández (2011)**, indican que la precipitación tiene una propiedad específica para erosionar un campo llamado erosividad; es decir, mientras mayor sea el valor de la precipitación, mayor será su valor de erosividad y mayor será su capacidad para producir erosión en circunstancias dadas. De acuerdo al estudio realizado, se puede apreciar



que coincide con lo expresado por Fattorelli y Fernández, para un mayor tiempo de retorno, mayor será su precipitación y mayor será su erosividad y pérdida de suelo, en la *Tabla 119*, *Tabla 138* y *Tabla 173* se observa que para un tiempo de retorno de 5 años con una precipitación anual de 1 160,7 mm (PP media anual de 3,18 mm) existe una erosividad de 80,9 MJ·mm/ha·h y una pérdida de suelo de hasta 26,57 Ton/ha/año y para un tiempo de retorno de 100 años, la precipitación anual aumenta a 2 427,25 mm (PP media anual de 6,65 mm) generando un mayor valor erosividad de 171,94 MJ·mm/ha·h y por consecuente una mayor pérdida de suelo de hasta 46,06 Ton/ha/año.

**Goñas (2017)**, evalúa en el distrito de Pomacochas a 2 225 m s.n.m la pérdida de suelo por erosión hídrica en diferentes sistemas de producción de pastos, determinando que el sistema a campo abierto presenta una pérdida de suelo de 0,968 Ton/ha/año, con precipitación anual de 1 305,4 mm y pendiente entre 6% y 7%. De acuerdo a la presente investigación, se puede hacer una comparación entre los resultados expresados por Goñas con los resultados de la estación Chotano Lajas donde se aprecia que existe una mayor pérdida de suelos en dicha estación, conforme a la *Tabla 118*, las tablas mencionadas en el ítem 6.1. y la *Tabla 157*, la estación Chotano Lajas se ubica a 2 163,4 m s.n.m en una zona abierta con vegetación escasa y precipitación anual de 1 346,85 mm para un tiempo de retorno de 25 años (PP media anual de 3,69 mm), obteniendo una pérdida de suelo de 8,20 Ton/ha/año.

Si bien ambos estudios presentan una altitud, cobertura vegetal y precipitación similares, los resultados de las pérdidas de suelos difieren debido a que la estación Chotano Lajas, a diferencia de la zona evaluada por Goñas, se ubica en un lugar con pendientes entre 25% a 50% y con un suelo de tipo Paramosol - Leptosol, donde a mayor pendiente del terreno, mayor será la velocidad por escurrimiento y por ende, mayor será la pérdida de suelo por erosión hídrica sumado a que estos suelos tiene drenaje bueno y favorecen la erosión de moderada a severa.

**Roncal (2006)**, determina la eficiencia del tipo de cobertura vegetal en el control de la erosión hídrica en dos microcuencas en Cajamarca, al evaluar una con predominancia de pastos obtiene resultados de pérdida de suelo de 10,2 a 17,4 Ton/ha viéndose un aumento del 70,6% inicial por el tipo de cobertura vegetal que no ejerce mucha resistencia ante la erosión. De acuerdo al estudio realizado en la subcuenca del río Chotano, se puede apreciar que los resultados de la estación Chugur ubicada en Cajamarca coincide con lo expresado por Roncal, donde en la *Tabla 157* se observa un aumento del 79,6% inicial de pérdida de suelo en una zona donde predominan los pastos cultivados (ver *Tabla 154*), cuyos valores van desde 3,04 a 5,46 Ton/ha/año para precipitaciones medias en un tiempo de retorno de 5 a 100 años.

**Camacho (2012)**, evalúa la pérdida de suelo por erosión hídrica de la precipitación máxima en la subcuenca Cumbaza determinando mediante el método USLE que la pérdida de suelos para un tiempo de retorno de 5 años con una precipitación máxima media de 90 mm es de 52 ton/ha/año y para un tiempo de retorno de 100 años con una precipitación máxima media de 140 mm es de 87 ton/ha/año.

De acuerdo al presente trabajo de investigación, se puede apreciar que la relación de a mayor tiempo de retorno, mayor será la pérdida de suelo coincide con lo expresado por Camacho, conforme a la *Tabla 129* y la *Tabla 185*, la pérdida de suelos para un tiempo de retorno de 5 años con una precipitación máxima media de 91,22 mm es de hasta 87,41 ton/ha/año y para un tiempo de retorno de 100 años con una precipitación máxima media de 139,64 mm es de hasta 152,86 ton/ha/año.

Al respecto, en ambos estudios para diferentes subcuencas, se presentan precipitaciones máximas medias similares para el mismo tiempo de retorno; sin embargo, los resultados de las pérdidas de suelos difieren debido a que la subcuenca Cumbaza al ubicarse

en una región selvática posee mayor cobertura forestal (25% bosque denso) en comparación con la Subcuenca del río Chotano, que de acuerdo a las tablas mencionadas en el *ítem 6.1.* se ubica en una región andina donde no hay presencia forestal significativa (2,67% bosque natural, 1,5% bosque primario/seco y 2,36% bosques naturales más vegetación arbustiva) sumado a que predomina el tipo de suelo Phaeozem - Leptosol (22,33%) y el Leptosol - Regosol (14,39%); que según Poma y Alcántara (2010-2011) los suelos de tipo Phaeozem, Leptosol y Regosol están predispuestos a la erosión moderada y severa.

**Ramos (2001)**, determina que uno de los factores que controlan los procesos erosivos es la pendiente, el 49% de la cuenca del río Cañete presenta pendientes mayores al 30% que favorecen los procesos erosivos debido al incremento de la velocidad del agua de escorrentía por lo que el 84,87% de la cuenca del río Cañete presenta problemas graves de erosión con pérdidas importantes de suelo. De acuerdo al presente trabajo de investigación, se puede apreciar que la relación entre las pendientes y la erosión potencial coincide con lo expresado por Ramos, al respecto, según la *Tabla 152* más del 50% de la subcuenca del río Chotano presenta pendientes mayores al 30% que van desde empinadas hasta extremadamente empinadas, dando como resultado en la *Tabla 174* y *Tabla 186* que para un tiempo de retorno de 5 a 100 años se determine una erosión potencial desde moderada a muy alta que abarca desde un 78% a un 87% del área para precipitaciones medias; y de un 95,57% a un 98,23% del área para precipitaciones máximas en la subcuenca del río Chotano.

La **FAO (2015)**, indica que la erosión es la mayor amenaza en las tierras de suelo de tipo Leptosol, particularmente en regiones de montaña de zonas templadas donde el crecimiento poblacional, el turismo, la sobreexplotación y el aumento de la contaminación ambiental conducen al deterioro de los bosques. De acuerdo al estudio realizado a la subcuenca del río Chotano, se aprecia que la relación entre el tipo de suelo Leptosol y la erosión potencial coincide con lo expresado por la FAO, en la *Tabla 150* se observa que la

presencia del tipo de suelo Leptosol está distribuida aproximadamente en el 74% a 75% del área de la subcuenca de estudio formando parte de consociaciones y asociaciones; asimismo, para el análisis de erosión potencial para precipitaciones medias, en la *Tabla 174* se observa erosión de tipo moderada a alta en un 78,59% al 87,06% del área para un tiempo de retorno de 5 a 100 años respectivamente; es decir, la erosión potencial por pérdida de suelos no está por debajo del 75% del área que abarca la presencia del suelo de tipo Leptosol; situación que se agrava cuando se realiza el análisis con las precipitaciones máximas donde se observa en la *Tabla 186* una erosión de tipo moderada hasta una muy alta en el 95,57% al 98,23% para un tiempo de retorno de 5 a 100 años respectivamente. Cabe mencionar que los análisis de erosión potencial son aquellos en donde no interviene el factor de cobertura vegetal, por ende, la pérdida de suelo estará relacionado directamente al tipo de suelo.

El **Gobierno Regional de Cajamarca (2011)**, describe dos tipos de amenazas ambientales en la subcuenca de estudio: el proceso de desertificación y el peligro de pérdida de suelos, en las tablas y figuras del *ítem 4.3.8.* se observa que el 87,82% del área de la subcuenca de estudio se encuentra en estado de desertificación de moderado a fuerte, y el 99,92% se encuentra en peligro de alto a muy alto de pérdida de suelos. De acuerdo a los resultados del presente trabajo de investigación, se puede apreciar que el porcentaje de áreas de mayor erosión coincide con el estudio realizado por el Gobierno Regional de Cajamarca, en la *Tabla 174*, para precipitaciones medias, se observa que la erosión de tipo moderada a alta abarca una extensión del 78,59% al 87,06% del área para un tiempo de retorno de 5 a 100 años respectivamente; asimismo, se observa en la *Tabla 186*, para precipitaciones máximas, una erosión de tipo moderada hasta una muy alta que abarca un 95,57% a 98,23% del área para un tiempo de retorno de 5 a 100 años respectivamente; esto hace evidente que existe un riesgo en la subcuenca de estudio con respecto a la pérdida de suelo y es necesario establecer un plan de manejo integral.

## VI. CONCLUSIONES

Las precipitaciones máximas afectan aumentando de manera directa el valor de la pérdida anual del suelo en comparación con la pérdida ocurrida por precipitaciones medias en diferentes tiempos de retorno: Para un tiempo de retorno de 5 años su valor máximo se incrementa de 27 Ton/ha/año a 87 Ton/ha/año. Y para un tiempo de retorno de 100 años su valor máximo aumenta de 46 Ton/ha/año a 153 Ton/ha/año.

El método USLE permite calcular la erosión potencial de la pérdida de suelos para las precipitaciones en la subcuenca del río Chotano en diferentes tiempos de retorno: Para un tiempo de retorno de 5 años se presenta un valor de 106 Ton/ha/año para precipitaciones medias y de 350 Ton/ha/año para precipitaciones máximas; aumentando dichos valores para un tiempo de retorno de 100 años, siendo para las precipitaciones medias 184 Ton/ha/año y para precipitaciones máximas 611 Ton/ha/año.

La técnica del SIG permite identificar las zonas de erosión hídrica y de erosión potencial según la clasificación de la FAO: Identificando el mayor valor para un tiempo de retorno de 100 años donde la mayor pérdida de suelos se da por efecto de las precipitaciones máximas siendo ligera en el 32,21% del área, moderada en el 63,68% y alta en el 4,11% restante. Cuya erosión potencial en dicho tiempo de retorno es de ligera en el 1,77% del área, moderada en el 21,38%, alta en el 65,98% y muy alta en el 10,87% restante.

## VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda instalar pluviógrafos para densificar el área de estudio con observación pluviométrica e intensidades.
- Se debe considerar instalar redes de monitoreo para estudiar la pérdida de suelo y realizar métodos de practica para determinar la erosión usando parcelas de experimentación, métodos de salpicadura de suelos o medición por varillas; dirigidos a las áreas que presentan mayor erosión en el presente trabajo de investigación
- Se debe realizar un plan de manejo integral; cuyas actividades deben ser la conservación de suelos y la plantación de especies arbóreas de la zona, para minimizar los procesos erosivos por efecto de las precipitaciones medias y máximas. Teniendo en cuenta el tipo de suelo Leptosol distribuido en casi el 75% del área y las pendientes de empinadas a extremadamente empinadas presentes en más del 50% del terreno.
- Las autoridades ediles deben realizar talleres para concientizar y promover el uso adecuado del suelo y su conservación; así como la reforestación y su importancia en el control de la pérdida de suelos.
- Replicar esta investigación a otras zonas de estudios como una herramienta de análisis sobre la pérdida de suelos e identificación de áreas vulnerables y control ambiental, para generar información sobre la evaluación de la erosión hídrica por efecto de las precipitaciones e identificar las áreas más afectadas para priorizar su recuperación.
- Considerar los datos de cartografía y precipitación mostrados en el presente trabajo de investigación para realizar a futuro una serie de estudios de erosión, balance hídrico de la subcuenca del rio Chotano, etc; teniendo como base la información de entrada que son las precipitaciones y complementándolo con información de salida como caudales, entre otros.

## VI. REFERENCIAS

- Agama, M. (2022). *Estimación de los factores que influyen en la pérdida de los suelos mediante la USLE en la microcuenca San Alberto del distrito de Oxapampa*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio institucional UNDAC. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2457>
- Alcántara, G. (2010). *La desertificación en la región Cajamarca, zonificación ecológica económica y ordenamiento territorial*. Gobierno Regional de Cajamarca. <https://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/consdesertificacion.pdf>
- Alcántara, G. (2010-211). *Pendiente de los suelos del departamento de Cajamarca*. Gobierno Regional de Cajamarca. <https://n9.cl/pendiente-zeeot-cajamarca>
- Alcántara, G. (2012). *Cobertura vegetal y uso actual del departamento de Cajamarca*. Gobierno Regional de Cajamarca. <https://n9.cl/zeeot-coberturavegetal>
- Almorox, J. (s.f.). *Climatología aplicada a la Ingeniería y Medioambiente*. <http://ocw.upm.es/course/climatologia-aplicada-ingenieria-medioambiente>
- Anaya. (1977). *Manual de conservación del suelo y del agua*. Universidad Autónoma Chapingo.
- Aparicio, F. (1996). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. (4<sup>a</sup> ed.). Limusa.
- Autoridad Nacional del Agua. (2011). *Diagnóstico de Problemas y Conflictos en la Gestión de los Recursos Hídricos en la cuenca Chinchipe - Chamaya*. ANA. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/44>

- Autoridad Nacional del Agua. (2010). *Evaluación de recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Mantaro*. ANA. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/1968>
- Autoridad Nacional del Agua. (2015). *Evaluación de recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Piura*. ANA. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/2031>
- Becerra, A. (2005). *Escorrentía, erosión y conservación de suelos*. Universidad Autónoma Chapingo. <https://n9.cl/-UAC>
- Caicedo, F. (2016). *Caracterización hidrológica Ciénaga de la Virgen o de Tesca*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. <https://n9.cl/-repository-humboldt>
- Camacho, K. (2012). *Evaluación de la erosión hídrica por efecto de la precipitación máxima en la subcuenca del río Cumbaza*. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Federico Villarreal.
- Casermeyro, M. (1995). *Degradación de suelos por erosión hídrica en la cuenca del Duero. Estabilidad estructural y estimación de la escorrentía superficial*. [Tesis de doctorado, Universidad Complutense de Madrid]. Repositorio institucional UCM. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/63770>
- Chacchi, S. (2021). *Erosión hídrica media anual en la unidad hidrográfica del río Seco, Tarma - Junín*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Los Andes]. Repositorio institucional UPLA. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/3074>
- Chitalogro, V. y Llamatumbi, E. (2021). *Aplicación del modelo USLE para estimar cuantitativamente la erosión hídrica en la microcuenca del río Chibunga*. [Tesis de



- pregrado, Universidad Nacional de Chimborazo]. Repositorio institucional UNACH.  
<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/7411>
- Cruz, N. y Zurita, S. (2021). *Niveles de erosión hídrica aplicando el sistema de información geográfica en el distrito de Yanaoca – Cusco 2020*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio institucional UPN. <https://hdl.handle.net/11537/30561>
- Colque, M. (2015). *Categorización de la erosión hídrica en la microcuenca de Ranrahirca, aplicando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE)*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Repositorio institucional UNASAM. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/1185>
- Córdova M. (30 de abril de 2016). *Parámetros geomorfológicos de cuencas hidrográficas*, [https://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id\\_articulo=26](https://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id_articulo=26).
- Corporación Autónoma Regional del Tolima. (2006). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Totare. Fase de diagnóstico*. CORTOLIMA.
- Cotler H. (1996). *Modelamiento de la erosión en el medio andino a través de un Sistema de Información Geográfica*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cotler, H., Sotelo, E., Dominguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S. y Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos, un asunto de interés público. *Gaceta ecológica*, (83), 5-71.  
<https://www.redalyc.org/pdf/539/53908302.pdf>
- Del Aguila, M. (2010). *Aplicación del modelo USLE/RUSLE para estimar la pérdida de suelos por erosión hídrica en la microcuenca Puente Pérez - Tingo María*. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Agraria de la Selva.

- Escobar, D. (2019). *Estimación de la erosión hídrica en zona semiárida del norte chileno mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE): el caso de Punitaqui (IV Región de Coquimbo)*. Universidad de Chile. <https://n9.cl/handle-2250-173350>
- Fattorelli S. y Fernández P. (2011). *Diseño Hidrológico*. (2ª ed.). WASA-GN. <http://www.wasa-gn.net/index.php?id1=6>
- Food and Agriculture Organization (2015). *Base referencial mundial del recurso suelo 2014. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Actualización 2015*. FAO. <https://www.fao.org/3/i3794es/I3794es.pdf>
- Gobierno Regional de Cajamarca. (2012). *Climático* [Mapa], 1:250 000, Cajamarca: Gobierno Regional de Cajamarca. <https://n9.cl/mapa-climatico-cajamarca>
- Gobierno Regional de Cajamarca. (2010). *Cobertura vegetal* [Mapa], 1:250 000, Cajamarca: Gobierno Regional de Cajamarca. <https://n9.cl/cobertura-vegetal-cajamarca>
- Gobierno Regional de Cajamarca. (2013). *Deforestación* [Mapa], 1:250 000, Cajamarca: Gobierno Regional de Cajamarca. <https://n9.cl/deforestacion-cajamarca>
- Gobierno Regional de Cajamarca. (2012). *Pendientes* [Mapa], 1:250 000, Cajamarca: Gobierno Regional de Cajamarca. <https://n9.cl/mapa-de-pendientes-cajamarca>
- Gobierno Regional de Cajamarca. (2010). *Pérdida de suelos* [Mapa], 1:250 000, Cajamarca: Gobierno Regional de Cajamarca. <https://n9.cl/perdida-de-suelos-cajamarca>
- Gobierno Regional de Cajamarca. (2012). *Sub modelo de desertificación* [Mapa], 1:250 000, Cajamarca: Gobierno Regional de Cajamarca. <https://n9.cl/sub-modelo-de-desertificacion>

- Gobierno Regional de Cajamarca. (2012). *Suelos* [Mapa], 1:250 000, Cajamarca: Gobierno Regional de Cajamarca. <https://n9.cl/mapa-suelos-cajamarca>
- Gobierno Regional de Cajamarca. (2010). *Vegetación natural* [Mapa], 1:250 000, Cajamarca: Gobierno Regional de Cajamarca. <https://n9.cl/vegetacion-natural-cajamarca>
- Gobierno Regional de Cajamarca. (2012). *Zonas de vida* [Mapa], 1:250 000, Cajamarca: Gobierno Regional de Cajamarca. <https://n9.cl/zonas-de-vida-cajamarca>
- Gobierno Regional de Cajamarca. (2011). *Zonificación Ecológica y Económica como base para el Ordenamiento Territorial del departamento de Cajamarca*. Gobierno Regional de Cajamarca. <https://n9.cl/zee-ot-region-cajamarca>
- Goñas, N. (2017). *Pérdida de suelo por erosión hídrica en dos sistemas de producción de pastos en el distrito de Pomacochas - Bongará, región Amazonas*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. Repositorio institucional UNTRM. <https://hdl.handle.net/20.500.14077/1197>
- Henao, J. (2003). *Introducción al manejo de cuencas hidrográficas*. Universidad Santo Tomás, División de Universidad Abierta y a Distancia DUAD, 2003.
- Hernández, G. (2010). *Cálculo de la tasa de erosión hídrica y propuesta de obras de conservación de suelo en la línea de tendido eléctrico la Ventosa - Juile, Oaxaca*. [Tesis de pregrado]. Universidad Autónoma Chapingo.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. (6ª ed.). McGraw-Hill.

- IBAL S.A. (2009). *Plan de ordenación y manejo ambiental de la microcuenca de las quebradas Las Panelas y La Balsa*. Corporación Autónoma Regional del Tolima. <https://www.cortolima.gov.co/cuenca/plan-manejo-ambiental-acu-fero-ibagu>
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2005). *Programa de prevención y Medidas de Mitigación ante desastres de la Ciudad de Cajamarca*. INDECI. <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/5225>
- Kirkby, J. y Morgan, P. (1994). *Erosión de suelos*. LIMUSA.
- López Cadenas de Llano. (1998). *Restauración Hidrológica Forestal de Cuencas y Control de la Erosión*. (2ª ed.). Grupo Mundi-Prensa.
- Mancebo, S., Ortega, E., Valentín, A., Martín Ramos, B., Martín Fernández, L. (2008). *Libro SIG: Aprendiendo a manejar los SIG en la gestión ambiental*. Universidad Politécnica de Madrid. <https://oa.upm.es/1244/>
- Mancilla, G. (2008). *Uso de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE) en el campo forestal*. Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/120400>
- Máximo Villón B. (2002). *Hidrología*. (2ª ed.). Editorial Villón.
- Ministerio de Agricultura. (2005). *Mapa de deforestación de la Amazonía peruana, año 2000* [Mapa], 1:250 000, Cajamarca: Sistema Nacional de Información Ambiental. <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/archivos/public/docs/736.jpg>
- Montes-León, M., Uribe-Alcántara, E. y García-Celis, E. (2011). Mapa nacional de erosión potencial. *Tecnología y Ciencias del Agua, antes Ingeniería hidráulica en México*, 2(1), 5-17. <https://www.redalyc.org/pdf/3535/353531972001.pdf>

- Montesinos, S. (2002). *Desarrollo metodológico para la evaluación del riesgo de erosión hídrica en el área mediterránea utilizando técnicas de teledetección y GIS*. [Tesis de doctorado, Universidad Complutense de Madrid]. Repositorio institucional UCM. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/62995>
- Morgan, P. (1997). *Erosión y Conservación del Suelo*. Ediciones Mundi Prensa.
- Muñoz, R. (2006). *Erosión Hídrica en la microcuenca San Pedro Huimilpan: Valoración Integrada para su Control*. [Tesis de maestría]. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Ormachea Ramos, A. M. (1991). *Uso de la tierra y erosión hídrica en el bosque húmedo tropical de Dantas - Huánuco*. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Peña, J. (2009). *Sistemas de información geográfica aplicados a la gestión de territorio*. (4ª ed.). Ecu.
- Pérez, S. (2001). *Modelo para evaluar la erosión hídrica en Colombia utilizando Sistemas de Información Geográfica*. [Tesis de pregrado]. Universidad Industrial de Santander.
- Pérez, J. (1979). *Fundamentos del ciclo hidrológico*. Universidad Central de Venezuela.
- Poma, W. y Alcántara, G. (2010 - 2011). *Estudio de suelos y capacidad de uso mayor del departamento de Cajamarca*. Gobierno Regional de Cajamarca. <https://n9.cl/rbmim>
- Puerta, C. (2018). *Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica usando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (U.S.L.E) en la subcuenca Chinata, Amazonas, 2018*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. Repositorio institucional UNTRM. <https://n9.cl/20-500-14077-1543>

- Ramírez, L. (2010). *Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del río Juramento - Salta*. Universidad Nacional de Salta.
- Ramos, C. (2001). *Modelamiento ambiental para análisis de susceptibilidad erosiva en la cuenca media y alta del río Cañete y determinación del mapa de erosión*. Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://n9.cl/n8bg5>
- Rengifo I., Muñoz, F. y Toro, O. (2022). Modelo USLE para estimar la erosión hídrica en siete municipios de la zona andina colombiana. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 20(2), 29-44. <https://n9.cl/modelo-USLE>
- Rodríguez M., Florentino A., Gallardo J. y García R. (2004). Sistemas de Información Geográfica en la evaluación de la erosión hídrica en Badajoz - España, aplicando la metodología USLE. *Agronomía tropical*, 54(4), 391-409. <https://n9.cl/SIG-USLE>
- Roncal Briones, W. R. (2006). *Influencia de las plantaciones forestales sobre la escorrentía superficial y la erosión hídrica en Porcón-Cajamarca*. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Sámano, A. (2008). *Evaluación de erosión natural de la cuenca media y alta del río Sonora*. [Tesis de maestría, Universidad de Sonora]. Repositorio institucional USON. <http://www.bidi.uson.mx/TesisIndice.aspx?tesis=20341>
- Sánchez, F. J. (junio de 2013). *Cálculos estadísticos en hidrología*, [https://hidrologia.usal.es/temas/calculos\\_esta.pdf](https://hidrologia.usal.es/temas/calculos_esta.pdf)

- Sánchez Rojas, A., Vásquez, C. (2010). *Mapa Climático del departamento de Cajamarca*. Gobierno Regional de Cajamarca. <https://n9.cl/tjtz>
- Sánchez, S. (2011). *Zonas de vida de Cajamarca*. Gobierno Regional de Cajamarca. <https://n9.cl/zonasvidaszee>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI. (s.f.). *Datos Hidrometeorológicos de la Dirección de redes de observación y datos del Senamhi*. Recuperado el 2 de febrero de 2020 de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI. (s.f.). *Datos Hidrometeorológicos del departamento de Cajamarca de la Dirección de redes de observación y datos del Senamhi*. Recuperado el 2 de febrero de 2020 de <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=cajamarca&p=datos-historicos>
- Suyon, N. y Moreno, L. (2020). *Determinación del nivel de erosión hídrica aplicando el modelo RUSLE en la cuenca Jequetepeque, período 1997-2017*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio institucional UPN. <https://hdl.handle.net/11537/29407>
- Tapia, S. (2011). *Cuantificación de la erosión hídrica superficial en las laderas semiáridas de la sierra peruana*. [Tesis de maestría]. Universidad Nacional Agraria La Molina
- Vanesa, A. (2010). *Determinación de la erosión hídrica de los suelos de la cuenca del río Pilcomayo - Salta*. Universidad Nacional de Salta. <https://n9.cl/erosion-hidrica-pilcomayo>

Vásquez, A. y Tapia, M. (2011). Cuantificación de la erosión hídrica superficial en las laderas semiáridas de la sierra peruana. *Revista Ingeniería UC*, 18(3), 42-50.  
<https://www.redalyc.org/pdf/707/70723269005.pdf>

Wischmeier, H. y Smith, D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning*. Department of Agriculture, Science and Education Administration. <https://n9.cl/wischmeier-smith-ebook-1978>