

**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**EVALUACIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO Y EROSIÓN LATERAL DEL RÍO  
ACHAMAYO PARA SU MITIGACIÓN, DISTRITO DE QUICHUAY,  
HUANCAYO - 2018**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**BACH. WALTER ALVARO ROJAS VICUÑA**

**Asesor:** Mg. Vladimir Ordoñez Camposano

**Línea de investigación institucional:** Salud y gestión de la salud.

**2018 - 2021**

**Huancayo – Perú – 2021 - Julio**

### **Dedicatoria**

Este trabajo va dedicado a mis padres y familiares por su apoyo incondicional.

Walter Alvaro Rojas Vicuña.

## **Agradecimiento**

A Dios y a mi familia.

Walter Alvaro Rojas Vicuña.

## HOJA DE CONFORMIDAD DE MIEMBROS DEL JURADO

---

Dr. Ruben Dario Tapia Silguera  
Presidente

---

Mg. Henry Gustavo Pautrat Egoavil  
Jurado revisor

---

Ing. Nataly Lucia Cordova Zorrilla  
Jurado revisor

---

Ing. Carlos Gerardo Flores Espinoza  
Jurado revisor

---

Mg. Miguel Ángel Carlos Canales.  
Secretario docente

## ÍNDICE

<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>xiii</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xvi</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>xvii</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	<b>19</b>
<b>EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>19</b>
1.1. Planteamiento del problema	19
1.2. Formulación y sistematización del problema	20
1.2.1. Problema general	20
1.2.2. Problemas específicos	20
1.3. Justificación	21
1.3.1. Práctica o social	21
1.3.2. Justificación metodológica	21
1.4. Delimitaciones	21
1.4.1. Espacial	21
1.4.2. Temporal	21
1.5. Limitaciones	21
1.6. Objetivos	22
1.6.1. Objetivo general	22
1.6.2. Objetivos específicos	22
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>23</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>23</b>
2.1. Antecedentes	23
2.1.1. Antecedentes nacionales	23
2.1.2. Antecedentes internacionales	25
2.2. Marco conceptual	27
2.2.1. Caudal máximo	27
2.2.2. Morfometría de cuenca hidrográfica	28
2.2.3. Curva Intensidad – Duración – Frecuencia	29
2.2.4. Tiempo de concentración	30

2.2.5. Erosión en cauce de ríos o erosión general	30
2.2.6. Control de la erosión en ríos	32
2.2.7. Espigones	33
2.2.8. Diseño de espigones	35
2.3. Definición de términos	39
2.3.1. Cuenca hidrográfica	39
2.3.2. Tormenta	39
2.3.3. Erosión generalizada	39
2.3.4. Erosión por contracción	39
2.3.5. Erosión localizada	40
2.3.6. Uso de suelos	40
2.3.7. Hidrograma	40
2.4. Bases legales	40
2.5. Hipótesis	40
2.5.1. Hipótesis general	40
2.5.2. Hipótesis específicas	40
2.6. Variable	41
2.6.1. Definición conceptual de la variable	41
2.6.2. Definición operacional de la variable	42
2.6.3. Operacionalización de las variables	42
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>43</b>
<b>METODOLOGÍA</b>	<b>43</b>
3.1. Método investigación	43
3.2. Tipo de investigación	43
3.3. Nivel de investigación	43
3.4. Diseño de investigación	44
3.5. Población y muestra	44
3.5.1. Población	44
3.5.2. Muestra	44
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	44
3.6.1. Observación directa	44
3.6.2. Análisis de documentos	44

3.7. Procedimiento de la investigación	44
3.8. Procesamiento de la información	47
3.9. Técnicas y análisis de datos	47
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>48</b>
<b>RESULTADOS</b>	<b>48</b>
4.1. Morfometría de la subcuenca del río Achamayo	48
4.2. Uso de suelos	49
4.3. Tormenta de diseño	49
4.3.1. Curva IDF	49
4.3.2. Tiempo de concentración	50
4.3.3. Hietograma	51
4.4. Características hidráulicas del cauce del río Achamayo	60
4.5. Erosión lateral del río Achamayo y propuesta para su mitigación	61
4.5.1. Erosión lateral del río Achamayo	61
4.5.2. Diseño de espigón	62
<b>CAPÍTULO V</b>	<b>71</b>
<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>71</b>
5.1. Morfometría de la subcuenca del río Achamayo	71
5.2. Uso de suelos	71
5.3. Tormenta de diseño	72
5.4. Características hidráulicas del cauce del río Achamayo	72
5.5. Erosión lateral del río Achamayo y propuesta su mitigación	73
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>75</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>77</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>78</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>81</b>
<b>ANEXO N° 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA</b>	<b>82</b>
<b>ANEXO N° 02: PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS</b>	<b>84</b>
<b>ANEXO N° 03: CÁLCULO DE EROSIÓN POR PROGRESIVAS</b>	<b>87</b>
<b>ANEXO N° 04: PANEL FOTOGRÁFICO</b>	<b>129</b>
<b>ANEXO N° 05: PLANOS</b>	<b>136</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coeficiente de contracción (m).	32
Tabla 2. Valores de “x” para suelos cohesivos.	32
Tabla 3. Valores de “x” para suelos no cohesivos.	32
Tabla 4. Separación de espigones en tramos rectos.	36
Tabla 5. Separación de espigones (Criterio de Maza-Alvarez – 1989).	37
Tabla 6. Operacionalización de variables.	42
Tabla 7. Características morfométricas de la subcuenca del río Achamayo.	48
Tabla 8. Uso de suelos en la subcuenca del río Achamayo.	49
Tabla 9. Curva de Intensidad – Duración – Frecuencia.	49
Tabla 10. Hietograma para un tiempo de retorno de 5 años.	51
Tabla 11. Hietograma para un tiempo de retorno de 10 años.	52
Tabla 12. Hietograma para un tiempo de retorno de 25 años.	53
Tabla 13. Hietograma para un tiempo de retorno de 50 años.	54
Tabla 14. Hietograma para un tiempo de retorno de 100 años.	55
Tabla 15. Caudal generado para un tiempo de retorno de 5 años.	56
Tabla 16. Caudal generado para un tiempo de retorno de 10 años.	57
Tabla 17. Caudal generado para un tiempo de retorno de 25 años.	57
Tabla 18. Caudal generado para un tiempo de retorno de 50 años.	58
Tabla 19. Caudal generado para un tiempo de retorno de 100 años.	59
Tabla 20. Características hidráulicas del cauce del río Achamayo, Quichuay – Huancayo.	60
Tabla 21. Características del cauce del río Achamayo.	60
Tabla 22. Área y volumen de erosión por sección en el río Achamayo.	61



Tabla 23. Sección estable o amplitud del cauce (B) de acuerdo al método de Simons y Henderson.	62
Tabla 24. Sección estable o amplitud del cauce (B) de acuerdo al método de Altunin – Manning.	62
Tabla 25. Sección estable o amplitud del cauce (B) de acuerdo al método de Blench.	63
Tabla 26. Sección estable o amplitud del cauce (B) de acuerdo al método de Pettis.	63
Tabla 27. Resumen de los valores obtenidos para la sección estable.	63
Tabla 28. Cálculo del tirante.	64
Tabla 29. Cálculo de la velocidad media.	64
Tabla 30. Cálculo del número de Froude.	65
Tabla 31. Cálculo de la altura de dique.	65
Tabla 32. Características geométricas del dique.	65
Tabla 33. Cálculo de la profundidad de socavación (Hs).	66
Tabla 34. Dimensionamiento del espigón.	67
Tabla 35. Cálculo de la altura y pendiente.	67
Tabla 36. Estabilidad del terraplén.	68
Tabla 37. Probabilidad del movimiento de la roca.	68
Tabla 38. Estabilidad del revestimiento del enrocado.	68
Tabla 39. Cálculo del diámetro de la roca de acuerdo a la fórmula de Maynard.	69
Tabla 40. Cálculo del diámetro de la roca de acuerdo a la fórmula de R.A. Lopardo.	70

Tabla 41. Cálculo del diámetro de la roca de acuerdo a la fórmula de la California Division of Highways.	70
Tabla 42. Precipitación máxima en 24 horas - Estación Ingenio.	85
Tabla 43. Consideraciones básicas para el cálculo de erosión.	88
Tabla 44. Erosión en la progresiva 0 + 020.	89
Tabla 45. Área de erosión en la progresiva 0 + 020.	90
Tabla 46. Erosión en la progresiva 0 + 040.	90
Tabla 47. Área de erosión en la progresiva 0 + 040.	91
Tabla 48. Erosión en la progresiva 0 + 060.	91
Tabla 49. Área de erosión en la progresiva 0 + 060.	92
Tabla 50. Erosión en la progresiva 0 + 080.	93
Tabla 51. Área de erosión en la progresiva 0 + 080.	94
Tabla 52. Erosión en la progresiva 0 + 100.	94
Tabla 53. Área de erosión en la progresiva 0 + 100.	95
Tabla 54. Erosión en la progresiva 0 + 120.	95
Tabla 55. Área de erosión en la progresiva 0 + 120.	96
Tabla 56. Erosión en la progresiva 0 + 140.	96
Tabla 57. Área de erosión en la progresiva 0 + 140.	97
Tabla 58. Erosión en la progresiva 0 + 160.	97
Tabla 59. Área de erosión en la progresiva 0 + 160.	98
Tabla 60. Erosión en la progresiva 0 + 180.	99
Tabla 61. Área de erosión en la progresiva 0 + 180.	100
Tabla 62. Erosión en la progresiva 0 + 200.	100
Tabla 63. Área de erosión en la progresiva 0 + 200.	101

Tabla 64. Erosión en la progresiva 0 + 220.	101
Tabla 65. Área de erosión en la progresiva 0 + 220.	102
Tabla 66. Erosión en la progresiva 0 + 240.	103
Tabla 67. Área de erosión en la progresiva 0 + 240.	104
Tabla 68. Erosión en la progresiva 0 + 260.	104
Tabla 69. Área de erosión en la progresiva 0 + 260.	105
Tabla 70. Erosión en la progresiva 0 + 280.	105
Tabla 71. Área de erosión en la progresiva 0 + 280.	106
Tabla 72. Erosión en la progresiva 0 + 300.	107
Tabla 73. Área de erosión en la progresiva 0 + 300.	108
Tabla 74. Erosión en la progresiva 0 + 320.	108
Tabla 75. Área de erosión en la progresiva 0 + 320.	109
Tabla 76. Erosión en la progresiva 0 + 340.	109
Tabla 77. Área de erosión en la progresiva 0 + 340.	110
Tabla 78. Erosión en la progresiva 0 + 360.	111
Tabla 79. Área de erosión en la progresiva 0 + 360.	112
Tabla 80. Erosión en la progresiva 0 + 380.	112
Tabla 81. Área de erosión en la progresiva 0 + 380.	113
Tabla 82. Erosión en la progresiva 0 + 400.	113
Tabla 83. Área de erosión en la progresiva 0 + 400.	114
Tabla 84. Erosión en la progresiva 0 + 420.	115
Tabla 85. Área de erosión en la progresiva 0 + 420.	116
Tabla 86. Erosión en la progresiva 0 + 440.	116
Tabla 87. Área de erosión en la progresiva 0 + 440.	117

Tabla 88. Erosión en la progresiva 0 + 460.	117
Tabla 89. Área de erosión en la progresiva 0 + 460.	118
Tabla 90. Erosión en la progresiva 0 + 480.	119
Tabla 91. Área de erosión en la progresiva 0 + 480.	119
Tabla 92. Erosión en la progresiva 0 + 500.	120
Tabla 93. Área de erosión en la progresiva 0 + 500.	121
Tabla 94. Erosión en la progresiva 0 + 520.	121
Tabla 95. Área de erosión en la progresiva 0 + 520.	122
Tabla 96. Erosión en la progresiva 0 + 540.	123
Tabla 97. Área de erosión en la progresiva 0 + 540.	124
Tabla 98. Erosión en la progresiva 0 + 560.	124
Tabla 99. Área de erosión en la progresiva 0 + 560.	125
Tabla 100. Erosión en la progresiva 0 + 580.	125
Tabla 101. Área de erosión en la progresiva 0 + 580.	126
Tabla 102. Erosión en la progresiva 0 + 600.	127
Tabla 103. Área de erosión en la progresiva 0 + 600.	128

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Formas en planta de espigones.	34
Figura 2. Orientación de espigones con respecto al flujo.	36
Figura 3. Espigones en gaviones con tapete completo.	37
Figura 4. Ejemplo de espigones en hexápodos.	38
Figura 5. Intensidad–Duración–Frecuencia en la subcuenca del río Achamayo	50
Figura 6. Hietograma para un tiempo de retorno de 5 años.	52
Figura 7. Hietograma para un tiempo de retorno de 10 años.	53
Figura 8. Hietograma para un tiempo de retorno de 25 años.	54
Figura 9. Hietograma para un tiempo de retorno de 50 años.	55
Figura 10. Hietograma para un tiempo de retorno de 100 años.	56
Figura 11. Caudales generados según periodos de retorno.	60
Figura 12. Sección típica del dique.	66
Figura 13. Erosión en la progresiva 0 + 020.	89
Figura 14. Erosión en la progresiva 0 + 040.	91
Figura 15. Erosión en la progresiva 0 + 060.	92
Figura 16. Erosión en la progresiva 0 + 080.	93
Figura 17. Erosión en la progresiva 0 + 100.	94
Figura 18. Erosión en la progresiva 0 + 120.	95
Figura 19. Erosión en la progresiva 0 + 140.	97
Figura 20. Erosión en la progresiva 0 + 160.	98
Figura 21. Erosión en la progresiva 0 + 180.	99
Figura 22. Erosión en la progresiva 0 + 200.	101
Figura 23. Erosión en la progresiva 0 + 220.	102

Figura 24. Erosión en la progresiva 0 + 240.	103
Figura 25. Erosión en la progresiva 0 + 260.	105
Figura 26. Erosión en la progresiva 0 + 280.	106
Figura 27. Erosión en la progresiva 0 + 300.	107
Figura 28. Erosión en la progresiva 0 + 320.	109
Figura 29. Erosión en la progresiva 0 + 340.	110
Figura 30. Erosión en la progresiva 0 + 360.	111
Figura 31. Erosión en la progresiva 0 + 380.	113
Figura 32. Erosión en la progresiva 0 + 400.	114
Figura 33. Erosión en la progresiva 0 + 420.	115
Figura 34. Erosión en la progresiva 0 + 440.	117
Figura 35. Erosión en la progresiva 0 + 460.	118
Figura 36. Erosión en la progresiva 0 + 480.	119
Figura 37. Erosión en la progresiva 0 + 500.	120
Figura 38. Erosión en la progresiva 0 + 520.	122
Figura 39. Erosión en la progresiva 0 + 540.	123
Figura 40. Erosión en la progresiva 0 + 560.	125
Figura 41. Erosión en la progresiva 0 + 580.	126
Figura 42. Erosión en la progresiva 0 + 600.	128

## RESUMEN

La investigación tuvo como problema general: ¿Qué influencia tiene el caudal en la erosión general del río Achamayo para su mitigación, Quichuay – Huancayo?, siendo el objetivo general: Evaluar la influencia que tiene el caudal en la erosión general del río Achamayo para su mitigación, Quichuay – Huancayo y la hipótesis general que debe contrastarse es: El caudal influye significativamente en la erosión general del río Achamayo para su mitigación, Quichuay – Huancayo.

El método de investigación fue el método científico, el tipo de investigación aplicada, el nivel de investigación fue descriptivo y el diseño de investigación fue no experimental; la población correspondió al río Achamayo, ubicado en el distrito de Quichuay, provincia de Huancayo de la región Junín, mientras que la muestra correspondió a un tramo de 620.54 m del río Achamayo, esta fue determinada mediante el tipo de muestreo no probabilístico intencional o dirigido.

Como conclusión principal se tiene que, la erosión del río Achamayo en el tramo de estudio resultó considerando un periodo de retorno de 100 años de  $4\,702.80\text{ m}^3$ ; para mitigar la erosión en el río se propone medidas estructurales siendo 8 espigones semi sumergidos en ambas márgenes del río, de longitud de trabajo es 6.70 m, longitud de anclaje de 1.68 m y longitud total de 8.38 m y con un diámetro de roca promedio de 0.40 m.

**Palabras clave:** Caudal máximo, erosión generalizada, espigón, cuenca hidrográfica.

## ABSTRACT

The general problem of the investigation was: What influence does the flow have on the general erosion of the Achamayo river for its mitigation, Quichuay - Huancayo, being the general objective: Evaluate the influence that flow has on the general erosion of the Achamayo river for its mitigation, Quichuay - Huancayo and the general hypothesis that should be contrasted is: Flow significantly influences the general erosion of the Achamayo river for its mitigation, Quichuay - Huancayo.

The research method was the scientific method, the type of research applied, the level of research was descriptive and the research design was non-experimental; the population corresponded to the Achamayo river, located in the district of Quichuay, province of Huancayo in the Junín region, while the sample corresponded to a 620.54 m section of the Achamayo river, this was determined by the type of intentional or directed non-probabilistic sampling.

The main conclusion is that the erosion of the Achamayo River in the study section resulted in a 100-year return period of 4,702.80 m<sup>3</sup>. To mitigate the erosion of the river, structural measures are proposed, 10 semi-submerged breakwaters on both banks of the river, with a working length of 6.70 m, an anchoring length of 1.68 m and a total length of 8.38 m, and an average rock diameter of 0.40 m.

**Keywords:** Maximum flow, generalized erosion, jetty, hydrographic basin.



## INTRODUCCIÓN

La tesis titulada: Evaluación de la erosión general del río Achamayo para su mitigación, Quichuay - Huancayo, tiene como objetivo el evaluar la erosión general del río Achamayo para su mitigación, Quichuay – Huancayo; se entiende que, el río al ser un ente dinámico presenta variabilidades en su cauce y al presentarse un incremento de caudal es mayor esta inestabilidad; en tal sentido, la presente investigación muestra en primera instancia el cálculo del caudal máximo en diferentes periodos de retorno para el cálculo de la erosión a fin de proponer medidas de mitigación de la misma. Con los resultados obtenidos se propone el uso de espigones como medida de mitigación de la erosión.

El desarrollo de la investigación presenta los siguientes capítulos:

El Capítulo I desarrolla el problema de investigación considerando el planteamiento, formulación y sistematización del problema, justificación, delimitaciones, limitaciones y objetivos.

El Capítulo II se refiere al marco teórico mostrando los antecedentes nacionales e internacionales, marco conceptual, definición de términos, bases legales, hipótesis y variables.

El Capítulo III trata sobre la metodología, resaltando el método, tipo, nivel y diseño de investigación; asimismo, la población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de información, procesamiento de la información, técnicas y análisis de datos.

El Capítulo IV describe los resultados en función a los objetivos planteados.

El Capítulo V desarrolla la discusión de los resultados.

Culminando esta investigación están las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

Walter Álvaro Rojas Acuña.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Planteamiento del problema**

Según Huerta y Loli (2014) la erosión es uno de los principales problemas a nivel mundial, pues reduce la capacidad del suelo de poder retener el agua, así también degrada las tierras, esta degradación debido a los fenómenos hidrológicos disminuye las cualidades del recurso natural y hasta de la productividad del mismo.

La erosión en los lechos de ríos también se encuentra inmersa a la problemática, alterando su constitución morfológica y poniendo en peligro su estabilidad, no sólo eso también llega a perjudicar a las estructuras viales y poblaciones aledañas, el proceso erosivo empieza socavando el lecho del río, lo cual crea zanjas, debilitándolo y ampliando la zona de posibles fallas (Fernández, 2015).

A nivel nacional se confronta con ello, siendo el caso de que según reportes de El Comercio (2018) en la provincia de Maynas (Loreto) la erosión fluvial debido a la crecida del río Amazonas afectó a 11 familias destruyendo 10

viviendas; la inestabilidad fluvial hace que no se presenten obras bien concebidas ni calculadas correctamente ni geométricamente óptimas; pero, es dable mencionar que, el río es fruto de su cuenca hidrográfica, la que proporciona agua y partículas sólidas, siendo de vital importancia sobre todo por la planificación territorial (uso de suelos) que se da en ella (Martín, 2013).

En ríos de la sierra esta problemática se muestra de forma latente, siendo el caso del río Achamayo que se ubica entre las provincias de Huancayo y Concepción de la región Junín, por lo cual es necesario plantear una solución considerando el caso de estudio en el distrito de Quichuay, con el fin de estabilizar y controlar el fenómeno erosivo que se presenta en su cauce, para ello se plantea medidas estructurales según las características hidrológicas e hidráulicas.

## **1.2. Formulación y sistematización del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Qué influencia tiene el caudal en la erosión general del río Achamayo para su mitigación, Quichuay – Huancayo?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- a) ¿Cuál es la morfometría de la cuenca para determinar la erosión general del río Achamayo para su mitigación, Quichuay – Huancayo?
- b) ¿Cuál es el uso de suelos de la cuenca para determinar la erosión general del río Achamayo para su mitigación, Quichuay – Huancayo?
- c) ¿Cuál es la tormenta de diseño para determinar la erosión general del río Achamayo para su mitigación, Quichuay – Huancayo?

- d) ¿Cuál son las características hidráulicas del cauce para determinar la erosión general del río Achamayo para su mitigación, Quichuay – Huancayo?

### **1.3. Justificación**

#### **1.3.1. Práctica o social**

La investigación contribuye a resolver un problema real que es la erosión lateral inminente del río Achamayo en el distrito de Quichuay, provincia de Huancayo y región Junín.

#### **1.3.2. Justificación metodológica**

Con la investigación se propone estrategias para la generación de conocimientos en el campo de la hidráulica de ríos, sobre todo en la mitigación del fenómeno lateral de ríos.

### **1.4. Delimitaciones**

#### **1.4.1. Espacial**

Se desarrolló la investigación en el cauce del río Achamayo ubicado en el distrito de Quichuay, provincia de Huancayo de la región Junín.

#### **1.4.2. Temporal**

Se ejecutó durante los meses de mayo del 2018 hasta noviembre de 2018.

### **1.5. Limitaciones**

Una de las principales limitaciones que se presentó en la elaboración de la investigación fue la carencia de datos meteorológicos de la zona de estudio.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo general**

Evaluar la influencia que tiene el caudal en la erosión general del río Achamayo para su mitigación, Quichuay – Huancayo.

### **1.6.2. Objetivos específicos**

- a) Determinar la morfometría de la cuenca para determinar la erosión general del río Achamayo para su mitigación, Quichuay – Huancayo.
- b) Especificar el uso de suelos de la cuenca para determinar la erosión general del río Achamayo para su mitigación, Quichuay – Huancayo.
- c) Establecer la tormenta de diseño para determinar la erosión general del río Achamayo para su mitigación, Quichuay – Huancayo.
- d) Determinar las características hidráulicas del cauce para determinar la erosión general del río Achamayo para su mitigación, Quichuay – Huancayo.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes**

##### **2.1.1. Antecedentes nacionales**

García (2018) en la investigación: “Diseño hidráulico y estructural de obras de protección frente a erosión e inundación del río Balsayacu en el centro poblado de Balsayacu, distrito de Campanilla, provincia de Mariscal Cáceres – región San Martín”, desarrolló una propuesta frente a la erosión e inundación del área urbana ribereña del centro poblado ya mencionado, para lo cual recolectó información concerniente a la topografía, mecánica de suelos y acontecimientos históricos de máximas avenidas, características de la cuenca hidrográfica del río Balsayacu, tal como área, perímetro, factor de forma, índice de compacidad, longitud de cauce, tiempo de concentración y densidad de drenaje; en base a ello realizó el estudio hidrológico de máximas avenidas de acuerdo a la información pluviométrica de la estación CO Campanilla con el método de Número de Curva para la obtención del caudal de diseño; las conclusiones a las que llegó fueron: Proyección de quince espigones deflectores de longitud entre

5 a 25 m, un dique de tierra fuera del cauce, paralelo y adyacente a la ribera derecha del río y la vida útil de las estructuras es de 20 años con un riesgo de falla del 25 %.

Fernández (2015) en la investigación: “Propuesta de restauración del tramo urbano del río Rímac mediante la aplicación de bioingeniería”, consideró la aplicación de la bioingeniería como barrera de vegetación en los márgenes del río con el fin de reducir la velocidad de la escorrentía, estabilizar el terreno y controlar la erosión; para lo cual definió la geometría, hidrometría y pendiente del terreno para simular un régimen permanente, no permanente y obtener mapas de inundaciones, variaciones de velocidades y esfuerzos cortante, así como el tirante del agua; mientras que, la estabilidad del terreno fue analizada por análisis estáticos y pseudo estáticos para la determinación de los factores de seguridad; como conclusiones llegó a que la utilización de vetiver como método de bioingeniería para la formación de una barrera viva contra la erosión en los márgenes del río es una herramienta integral para mejorar las condiciones mecánicas, hidráulicas y medio ambientales del tramo estudiado.

Huerta y Loli (2014) en la investigación: “Erosión hídrica en la cuenca alta del río Moche”, establecieron como objetivo estudiar la pérdida de suelo y la incidencia de las precipitaciones en la erosión hídrica, para lo cual cuantificaron la escorrentía superficial y la pérdida de suelo bajo condiciones de uso del suelo en las microcuencas de Huangamarca y Pollo de la cuenca alta del río Moche; situación por la cual determinaron los caudales de los ríos para un periodo de 24 años (1 988 – 2 011), con el cual estimaron el poder erosivo de las precipitaciones como factor determinante de la erosión mediante el método de



Fournier basado en la precipitación del mes más lluvioso y la precipitación total anual; las conclusiones a la que llegaron fueron: que las pérdidas de suelos en las microcuencas Huangamarca y Pollo fueron de 7,29 a 33,40 t/h/año el mismo que se encuentra fuera de lo establecido por la FAO (1980).

### **2.1.2. Antecedentes internacionales**

Cifuentes y Plazas (2017) en su investigación: “Susceptibilidad a la erosión de los suelos ribereños del río Magdalena mediante análisis geológico y geotécnico – área urbana de Neiva”, consideraron como objetivos: determinar las características físicas y geomecánicas de los suelos ribereños del río Magdalena, determinar la susceptibilidad del suelo ante la erosión fluvial, analizar la susceptibilidad a la erosión laminar hídrica; para el cumplimiento de los mismos realizaron en primera instancia la recopilación de información tal como mapas de pendientes, topográficos, geológicos, cobertura vegetal y datos ambientales además de la normativa, prosiguiendo con la realización de la campaña exploratoria de puntos para la aplicar los Apiques en base a la normativa de INVIAS, como tercer paso realizaron la digitalización y generación del modelo matemático mediante los parámetros de la ecuación universal de pérdida de suelos: mapa de cobertura, mapa S, mapa K, mapa Es y mapa Lm y por último ajustaron el modelo mediante la influencia de los parámetros de la ecuación universal de pérdida del suelo en el mapa de susceptibilidad determinando la atenuación o la potencialización de los fenómenos erosivos; siendo así que llegaron a las siguientes conclusiones: que la caracterización geológica y geotécnica de los suelos permiten establecer la susceptibilidad del mismo ante la erosión fluvial, los valores de erosión más altos y críticos se

presentan en los periodos de retorno de 10 y 25 años, y que la generación de modelos de susceptibilidad a la erosión es de gran ayuda para la evaluación de estrategias dirigidas al uso de suelos para la planificación del territorio.

Pedraza (2015) en la investigación titulada: "Estimación de la erosión hídrica mediante dos métodos de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) en la cuenca del río Chapingo, Texcoco", estableció como objetivos: caracterizar geográficamente la cuenca del río Chapingo, calcular la erosión potencial y actual de la zona de estudio por el método de la FAO, estimar la erosión hídrica por el método de SAGARPA, determinar la tasa de entrega de sedimentos de la cuenca del río Chapingo y generar propuestas basadas en los niveles de erosión hídrica que permitan controlar los niveles de erosión hídrica en la zona aledaña a la cuenca; para el cumplimiento de los mismos en primera instancia caracterizó la cuenca Chapingo en base a su localización geográfica, clima, suelos, geología, regionalización fisiográfica, hidrología, hidrología subterránea, uso de suelo y vegetación, prosiguiendo al cálculo de la erosión potencial y actual a través de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, el factor de erosividad (R), el factor de la erosionabilidad del suelo (K), factor de longitud y grado de la pendiente (LS), cálculo de la cobertura vegetal (C), determinación de la erosión potencial y actual de pérdida de suelo, determinación de la erosión por el método de SAGARPA, estimación indirecta del factor de longitud y grado de pendiente (LS), erosión media ponderada y tasa de aporte de sedimentos y tasa de aporte de sedimentos; las conclusiones a las que llegó fueron: Que los resultados obtenidos en base a la EUPS y SAGARPA difieren significativamente; asimismo, recomienda la aplicar el método SAGARPA ya que simplifica la metodología

desarrollada por la FAO, además que gracias a ello es posible identificar zonas que requieran atención en cuanto a la aplicación de conservación de suelos.

Rojas (2014) en la investigación: “Bases de diseño hidráulico para los encauzamientos o canalizaciones de ríos”, consideró como objetivos: Proponer la protección frente a las inundaciones, proponer la protección de la destrucción del terreno y asegurar la fijación de un cauce estable para el río, para lo cual en primera instancia recolectó información concerniente a la normativa, seguido de la obtención de los caudales de diseño, selección del periodo de retorno, cálculo de la producción del material sólido en la cuenca hidrográfica y el río, análisis granulométrico del material del curso del río y el análisis fluviomorfológico para el proyecto de encauzamiento; llegando a las siguientes conclusiones: Un proyecto de encauzamiento es impredecible, sobre todo por la geometría del río, el estado de equilibrio o desequilibrio, el régimen hidrológico, las avenidas y el transporte de sólidos, para el caso de estudio se consideró espigones permeables y diques laterales, recomienda que los espigones no deben ser utilizados en pendientes mayores al 2%; finalmente menciona que, el encauzamiento permitirá la evacuación de las aguas en crecidas previniendo inundaciones y erosión de la ribera en un periodo de retorno de 50 años en el río Monjas.

## **2.2. Marco conceptual**

### **2.2.1. Caudal máximo**

Corresponde a un caudal de gran magnitud, que trae consigo el desborde de río o quebradas, su magnitud está en función al periodo de retorno, el mismo que

depende de la importancia de la obra hidráulica que se refleja en su vida útil (García, 2018).

Existen diversos métodos para el estudio de las máximas avenidas:

- Métodos históricos.
- Métodos estadísticos o probabilísticos.
- Métodos hidrológicos.
- Método directo o hidráulico.

El método histórico, se refiere a los máximos niveles que alcanza el agua y que queda señalado en el cauce del río (ya sea dentro o fuera), el método estadístico permite la estimación del caudal máximo mediante la distribución probable de diversos periodos de retorno, entre los que se presenta el método de Gumbel y el método de Log Pearson tipo III, el método hidrológico se utiliza cuando no se cuenta con información hidrométrica entre los que se encuentra el método SCS (Soil Conservation Service), método de Mac – Math y Método de Iszkowski; por último el método directo para lo cual se requiere conocer las características de la sección transversal del río (García, 2018).

### **2.2.2. Morfometría de cuenca hidrográfica**

Anaya (2012) menciona que, son las características de la cuenca hidrográfica que permite determinar la distribución tanto espacial y temporal del volumen de agua que discurre en toda el área por la transformación de lluvias en escorrentía, dentro de las cuales se tiene:

- Área
- Longitud
- Perímetro

- Ancho
- Factor de forma (kf)
- Coeficiente de compacidad (kc)

$$kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Siendo: kc el coeficiente de compacidad, P el perímetro de la cuenca y A el área de la cuenca.

- Parámetro relativos al relieve: pendiente de la cuenca hidrográfica, pendiente del cauce principal.
- Parámetros relativos al drenaje: densidad de drenaje y curva hipsométrica.

### 2.2.3. Curva Intensidad – Duración – Frecuencia

Corresponde a uno de los primeros pasos que debe seguirse para el diseño hidrológico de muchos proyectos, es la representación de una tormenta de diseño o un evento que involucre una relación entre la intensidad de lluvia (profundidad), la duración y las frecuencias o periodos de retornos; para la determinación de la intensidad se utiliza la siguiente fórmula (Chow, 2004):

$$I = \frac{KT^m}{t^n}$$

Siendo:

- I : Intensidad en mm/hr
- t : duración de la lluvia en minutos
- T : periodo de retorno en años
- K, m, n : parámetros de ajuste.

#### **2.2.4. Tiempo de concentración**

García (2018) señala que, corresponde al tiempo transcurrido desde que una gota de agua cae en el punto más alejado de una cuenca hidrográfica hasta que llega a la salida de ésta o hasta cierto punto de interés, este a su vez se encuentra condicionado a las características geográficas y topográficas de la cuenca, se presentan diversas fórmulas entre las que destaca la de Kirpich:

$$T_c = 0.0195 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Siendo:

$T_c$  : tiempo de concentración en minutos.

$L$  : máxima longitud de recorrido en metros.

$H$  : Diferencia de elevación entre los extremos del cauce principal en metros.

#### **2.2.5. Erosión en cauce de ríos o erosión general**

Es aquella que se produce en el cauce como consecuencia de la crecida del río, puesto que se pone en movimiento las partículas que se encuentran en equilibrio (Guitelman y Pérez, 1999).

Para su medición existen diversos métodos como los de Lischtván y Lebediev, el mismo que se fundamenta en que la erosión se detiene cuando la velocidad del escurrimiento se reduzca hasta un punto tal en que iguale a la velocidad mínima o de equilibrio, la hipótesis fundamental por la que se basa el método es que la distribución transversal de caudales de una sección se mantiene invariable durante todo el desarrollo del proceso erosivo; asimismo, la velocidad media de la corriente en función de la profundidad, para cada punto de la sección, es

considerada a partir de la ecuación de Manning (Schreider, Scacchi, Franco, Fuentes y Moreno, 2001):

$$V_{ri} = \alpha \frac{h_{oi}^{5/3}}{h_{si}} ; \alpha = \frac{Qd}{h_m^{5/3} Bm}$$

Siendo:

$V_{ri}$  : velocidad media de la corriente luego de la erosión vertical  $i$  de la sección (m/s).

$h_{oi}$  : profundidad antes de la erosión en la vertical  $i$  de la sección (m).

$h_i$  : profundidad luego de la erosión en la vertical  $i$  de la sección (m).

$Qd$  : caudal de diseño total (m<sup>3</sup>/s).

$h_m$  : profundidad media de la sección antes de la erosión (m).

$B$  : ancho superficial efectivo asociado con  $Qd$  (m).

$m$  : Coeficiente de contracción.

La altura de socavación para suelos cohesivos se obtiene de:

$$H_s = \left[ \frac{\alpha h_{oi}^{5/3}}{0.60 b g_d^{1.18}} \right]^{1/(1+x)}$$

La altura de socavación para suelos no cohesivos se obtiene de:

$$H_s = \left[ \frac{\alpha h_{oi}^{5/3}}{0.68 b g_d^{1.28}} \right]^{1/(1+x)}$$

Siendo:

$b$  : coeficiente de acuerdo al periodo de retorno.

$d$  : diámetro medio del agregado en mm.

$x$  : exponente variable que depende del diámetro del material.

Tabla 1. Coeficiente de contracción (m).

Velocidad media (m/s)	Longitud libre entre dos estribos (m)												
	10	13	16	18	21	25	30	42	52	63	106	124	200
Menor de 1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.50	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
2.00	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
2.50	0.9	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
3.00	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
3.50	0.87	0.9	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
4 o mayor	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99

Tabla 2. Valores de "x" para suelos cohesivos.

Peso específico (Tn/m <sup>3</sup> )	x	Peso específico (Tn/m <sup>3</sup> )	x
0.80	0.52	1.20	0.39
0.83	0.51	1.24	0.38
0.86	0.50	1.28	0.37
0.88	0.49	1.34	0.36
0.90	0.48	1.40	0.35
0.93	0.47	1.46	0.34
0.96	0.46	1.52	0.33
0.98	0.45	1.58	0.32
1.00	0.44	1.64	0.31
1.04	0.43	1.71	0.30
1.08	0.42	1.80	0.29
1.12	0.41	1.89	0.28
1.16	0.40	2.00	0.27

Tabla 3. Valores de "x" para suelos no cohesivos.

dm (mm)	x	dm (mm)	x
0.05	0.43	40.00	0.30
0.15	0.42	60.00	0.29
0.50	0.41	90.00	0.28
1.00	0.40	140.00	0.27
1.50	0.39	190.00	0.26
2.50	0.38	250.00	0.25
4.00	0.37	310.00	0.24
6.00	0.36	370.00	0.23
8.00	0.35	450.00	0.22
10.00	0.34	570.00	0.21
15.00	0.33	750.00	0.20
20.00	0.32	1000.00	0.19
25.00	0.31		

### 2.2.6. Control de la erosión en ríos

Guitelman y Pérez (1999) mencionan que existen diversas soluciones para reducir la energía de la creciente, dentro de las cuales se tiene:



## **Vegetación**

Cumpliendo cuatro funciones principales:

- Interceptar y reducir la energía de impacto de la lluvia.
- Reducir la velocidad de escurrimiento.
- Filtrar el sedimento y aumentar la entrada de agua.
- Mantener el suelo en su lugar mediante las raíces.

## **Ligantes o adherentes de suelo**

Uno de los más utilizados se basa en el coque el mismo que forma una membrana resistente al agua que estabiliza la superficie contra la erosión.

## **Contención geocompositiva**

Consiste en la protección mediante la utilización de matrices semirígidas tridimensionales hechas de una tela no tramada de poliéster.

## **Métodos estructurales de control**

Se da cuando las fuerzas de erosión exceden las capacidades de la reforestación para suministrar protección durante un largo periodo de tiempo.

Dentro de las cuales se tiene:

- Revestimiento de hormigón simple y premoldeado.
- Utilización de gaviones y colchonetas.
- Utilización de espigones.

### **2.2.7. Espigones**

Suárez (2001) menciona que corresponden a estructuras longitudinales y que son una de las formas más eficientes de controlar el cauce de un río, estos pueden construirse dentro de cauce como medida de protección a lo largo de las orillas; desde el punto de vista hidráulico estas estructuras ayudan a aumentar

la velocidad y disminuir la resistencia, al movimiento y la erosión; son estructuras sólidas alargadas construidos a un ángulo con la dirección de flujo, anclada en la orilla y con una cabeza para el manejo del flujo en la punta.

Se tiene espigones cortos (spurs) donde:

$$\frac{L_p}{B_1} < 0.33$$

Siendo:

$L_p$  : longitud de la estructura proyectada sobre la línea perpendicular a la corriente.

$B_1$  : es el ancho de la sección definitiva del río.

Asimismo, se tiene espigones largos (groynes) donde:

$$\frac{L_p}{B_1} > 0.33$$

Dentro de las formas de los espigones se tiene:

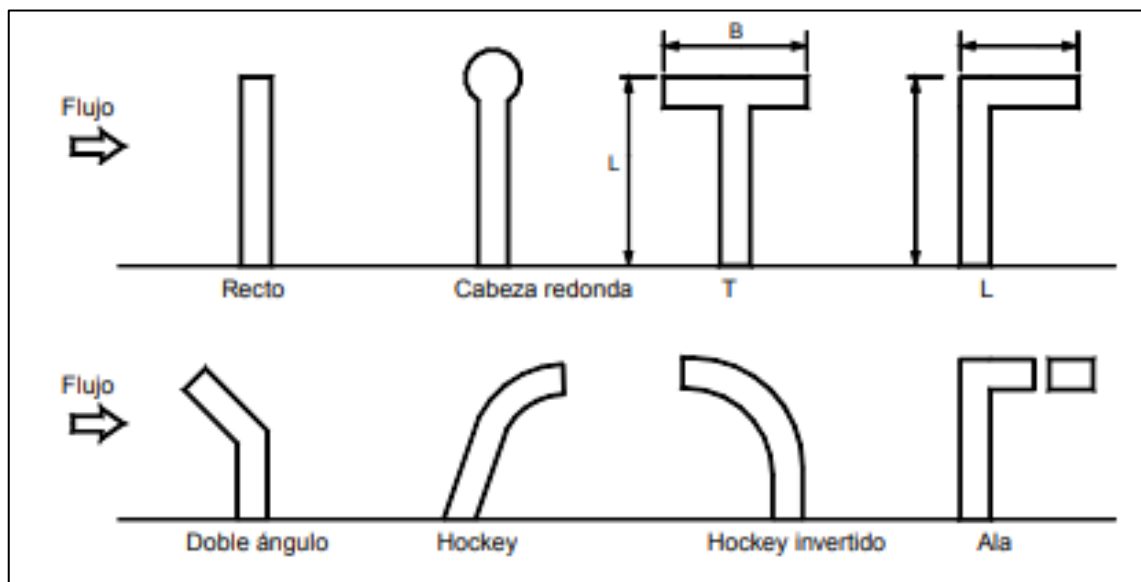


Figura 1. Formas en planta de espigones.

Fuente: Suárez (2001).

### **2.2.8. Diseño de espigones**

Según Suárez (2001) se tiene:

#### **Variables de flujo**

- Profundidad de aguas mínimas, normales y máximas.
- Cantidad de carga suspendida con relación a la carga de fondo.

#### **Parámetros de cauce**

- Pendiente y velocidad del río.
- Características del material de fondo.
- Tamaño de canal (ancho y sección).

#### **Materiales disponibles para la construcción**

Analizar las posibilidades de materiales para su construcción.

#### **Posibilidad de avalanchas y otras amenazas**

- Conocimiento del régimen hidráulico del río.
- Cálculo de socavación del cauce con el espigón.
- Diseño de una cimentación con la profundidad adecuada.
- Diseño hidráulico del espigón.
- Diseño estructural (resistencia y flexibilidad) del espigón.

#### **Elementos a diseñar**

- Localización en planta.
- Longitud de espigones.
- Elevación de la cresta de los espigones.
- Número de espigones.
- Pendiente de la corona.
- Ángulo de orientación respecto a la orilla.

- Taludes laterales de los espigones.
- Permeabilidad del espigón.
- Características y tamaño de los materiales para la construcción de los espigones.
- Determinación de las condiciones de flujo alrededor de los espigones.
- Predicción de la socavación en la curva y socavación local en el extremo del espigón.

### Localización en planta

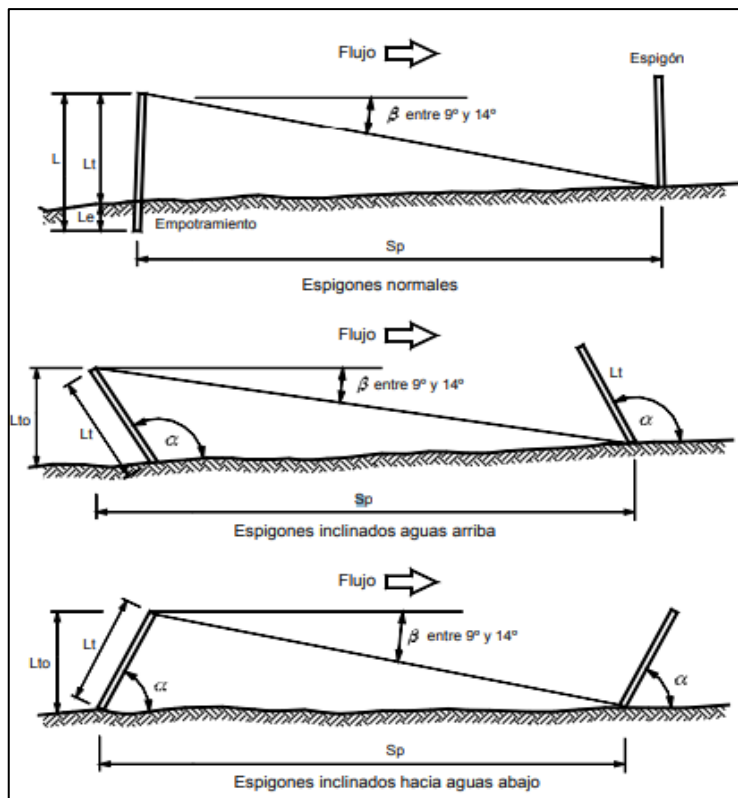


Figura 2. Orientación de espigones con respecto al flujo.

Fuente: Suárez (2001).

La separación en tramos rectos se define de la siguiente manera:

Tabla 4. Separación de espigones en tramos rectos.

Ángulo de orientación	Separación $S_p$
$90^\circ$ a $70^\circ$	5.1 a 6.3 de $L_t$ o 5.2 a 6.4 de $L_{to}$
$60^\circ$	5 a 6 de $L_t$ o 5.7 a 6.9 de $L_{to}$

Tabla 5. Separación de espigones (Criterio de Maza-Alvarez – 1989).

$\alpha$	Lt	Sp teórico en función Lto	Sp teórico en función Lt	Sp recomendable	
				Empotrado	No empotrado
60	1.15 Lto	5.7 - 6.9	5.0 - 6.0	6 Lt	5 Lt
70	1.06 Lto	5.4 - 6.6	5.1 - 6.3	6.3 Lt	5 Lt
90	Lto	5.1 - 6.3	5.1 - 6.3	6.3 Lt	5 Lt

### Orientación de los espigones

Pueden presentarse:

- Espigones inclinados hacia aguas arriba (ángulo  $\alpha > 90^\circ$ ).
- Espigones inclinados hacia aguas abajo (ángulo  $\alpha < 90^\circ$ ).
- Espigones ortogonales al flujo (ángulo  $\alpha = 90^\circ$ ).

### Altura de los espigones

El flujo no debe pasar por encima del espigón para evitar la socavación lateral del mismo, asimismo un espigón de baja altura disminuye la sedimentación, pero forma un área de aguas bajas facilitando la vida acuática.

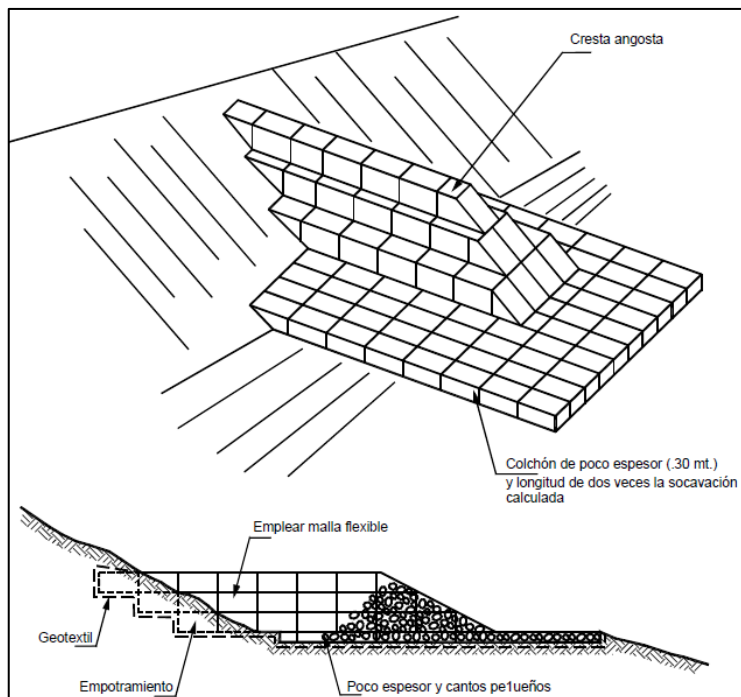


Figura 3. Espigones en gaviones con tapete completo.

Fuente: Suárez (2001).

## Longitud de los espigones

La longitud total de un espigón se divide en longitud de anclaje o empotramiento y longitud del trabajo. La primera es la que está dentro de la margen y la segunda la que está dentro de la corriente.

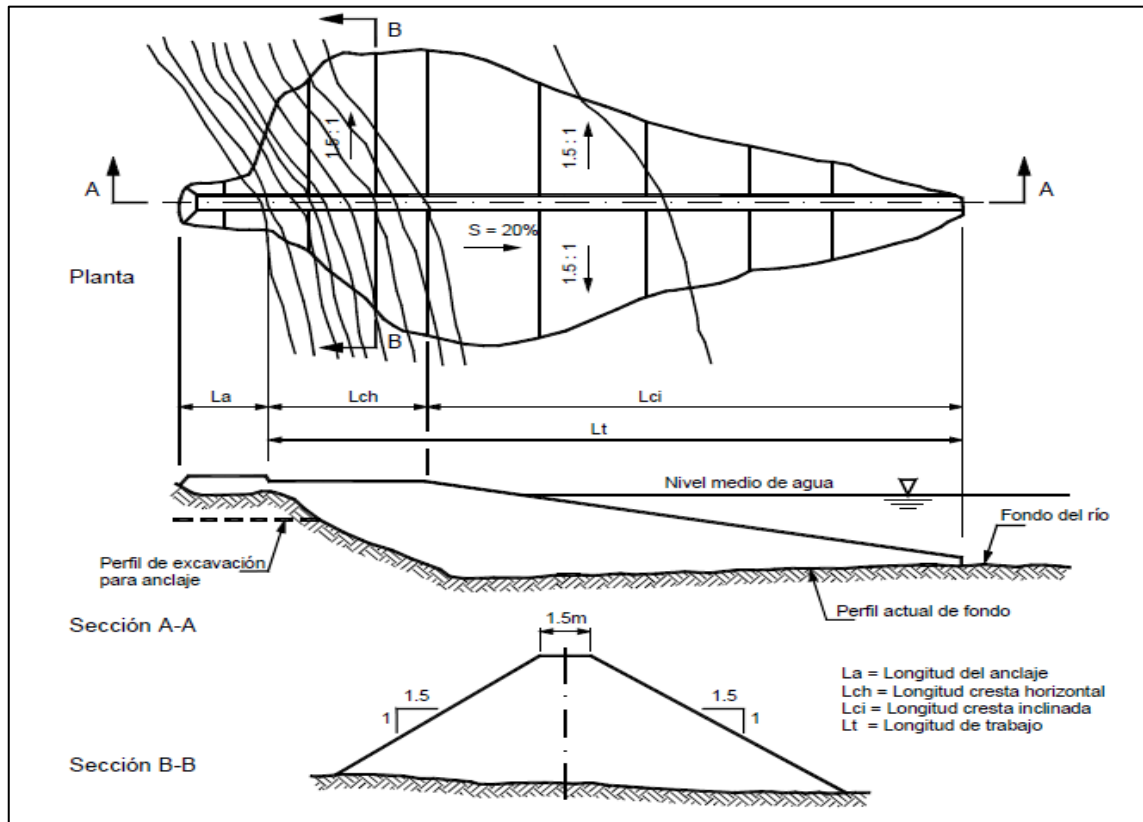


Figura 4. Ejemplo de espigones en hexápodos.

Fuente: Suárez (2001).

Además, es conveniente considerar los siguientes límites:

$$h < L < \frac{B}{4}$$

Siendo:

B : ancho medio del cauce.

h : tirante medio, ambos para el caudal dominante.

L : longitud efectiva del espigón.

## **Materiales para espigones**

Dentro de la variedad de espigones se tiene:

- Enrocado.
- Gaviones.
- Pilotes.
- Madera o bambú.
- Elementos prefabricados de concreto.

## **2.3. Definición de términos**

### **2.3.1. Cuenca hidrográfica**

Es la superficie de terreno donde la caída de la precipitación, se une unen formando un solo curso de agua (García, 2018).

### **2.3.2. Tormenta**

Son generalmente lluvias intensas, pero de corta duración, se da por los movimientos verticales de aire muy fuertes localmente, en los cuales la precipitación de partículas de lluvia se inicia en la base de las nubes y crece hacia arriba, el tiempo en que se forma la precipitación es muy corto (aproximadamente 45 minutos) (Suárez, 2001).

### **2.3.3. Erosión generalizada**

Producto de las crecidas en el cauce, que pone en movimiento las partículas de fondo que se encontraban en movimiento (Guitelman y Pérez, 1999).

### **2.3.4. Erosión por contracción**

Ocurre cuando la luz del puente es inadecuada de acuerdo al caudal esperado de crecida, produciendo una contracción de la vena fluida durante la misma,

incrementando la velocidad enormemente y, por lo tanto, la erosión (Guitelman y Pérez, 1999).

### **2.3.5. Erosión localizada**

Es la fosa que se genera ante algún elemento físico componente del diseño del puente (en pilas y estribos), o singularidad que se encuentre interpuesta en la corriente fluida (Guitelman y Pérez, 1999).

### **2.3.6. Uso de suelos**

Son las características de la superficie de la cuenca, corresponden el tipo y porcentaje de cobertura vegetal, zona de cultivos, zonas urbanas, zonas pavimentadas u otros que a su vez condicionan la magnitud y características de los caudales y la forma del hidrograma de las crecientes (Suárez, 2001).

### **2.3.7. Hidrograma**

Gráfica que representa el caudal de un río de acuerdo a la variación del tiempo (Rojas, 2014).

## **2.4. Bases legales**

- Ley de recursos hídricos N° 29338.

## **2.5. Hipótesis**

### **2.5.1. Hipótesis general**

El caudal influye significativamente en la erosión general del río Achamayo para su mitigación, Quichuay – Huancayo.

### **2.5.2. Hipótesis específicas**

- a) La morfometría de la cuenca para determinar la erosión general del río, está dada por el área, perímetro, longitud de cauce más largo,



ancho promedio, factor de forma de Horton, el coeficiente de compacidad, entre otros.

- b) El uso de suelos de la cuenca para determinar la erosión general del río está en función al área y el número curva.
- c) La tormenta de diseño para determinar la erosión general del río Achamayo, está dada por la intensidad, frecuencia y el tiempo de concentración.
- d) Las características hidráulicas del cauce del río Achamayo, corresponden a las propiedades físicas del cauce y del caudal que circula por el mismo.

## **2.6. Variable**

### **2.6.1. Definición conceptual de la variable**

#### **Variable independiente: Caudal máximo**

Corresponde a un caudal de gran magnitud, que trae consigo el desborde de río o quebradas, su magnitud está en función al periodo de retorno, el mismo que depende de la importancia de la obra hidráulica que se refleja en su vida útil (García, 2018).

#### **Variable dependiente: Erosión general**

Se produce en el cauce como consecuencia de la crecida del río, puesto que se pone en movimiento las partículas que se encuentran en equilibrio (Guitelman y Pérez, 1999).

## 2.6.2. Definición operacional de la variable

### Variable independiente: Caudal máximo

Se determinó mediante el software Hec – Hms, en base a las características físicas de la subcuenca y la tormenta de diseño.

### Variable dependiente: Erosión general

Se calculó según el método de Lischtvan y Lebediev.

## 2.6.3. Operacionalización de las variables

Tabla 6. Operacionalización de variables.

Variable	Dimensiones	Indicador	
Caudal máximo	Morfometría de la cuenca	Área	
		Perímetro	
		Longitud de cauce más largo	
		Ancho promedio	
		Factor de forma de Horton	
		Coefficiente de compacidad	
		Cota mínima	
		Cota máxima	
		Densidad de drenaje	
		Pendiente de cauce	
		Altitud media	
		Uso de suelos	Área
			Número de curva
			Intensidad
Tormenta de diseño	Duración		
	Frecuencia		
	Longitud de cauce más largo		
	Pendiente		
Erosión general	Características hidráulicas del cauce	Caudal de diseño	
		Ancho efectivo de la superficie del líquido	
		Coefficiente de contracción	
		Profundidad media de la sección	
		Exponente variable según el diámetro del material	
		Diámetro medio	
		Peso específico	
		Periodo de retorno	
		Coefficiente del periodo de retorno	

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Método investigación**

Corresponde al método científico, este rechaza o elimina todo procedimiento que manipule la realidad en forma caprichosa, imponiendo prejuicios, creencias o deseos que no se ajusten a un control adecuado de la realidad y de los problemas que se investigan (Carrasco, 2013).

#### **3.2. Tipo de investigación**

Del tipo aplicada pues su fin recae en resolver problemas prácticos con el propósito de cambio, que a su vez contribuye a la toma de decisiones (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

#### **3.3. Nivel de investigación**

Es descriptiva, pues se caracterizó cada una de las variables de estudio para llegar al entendimiento del fenómeno (Bernal, 2010).

### **3.4. Diseño de investigación**

No experimental de corte transeccional, por no manipular deliberadamente las variables y la toma de datos se dio en un sólo momento (Hernández et al., 2014).

### **3.5. Población y muestra**

#### **3.5.1. Población**

Corresponde al río Achamayo, ubicado en el distrito de Quichuay, provincia de Huancayo de la región Junín.

#### **3.5.2. Muestra**

La muestra de acuerdo al método no probabilístico intencional o dirigido, corresponde a un tramo de 620.54 m del río Achamayo, ubicado en el distrito de Quichuay, provincia de Huancayo de la región Junín.

### **3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.6.1. Observación directa**

Se dio mediante un procedimiento sistematizado y controlado, a fin de obtener los datos de las características físicas del cauce del río Achamayo.

#### **3.6.2. Análisis de documentos**

Basada en información bibliográfica e Internet, para la elaboración del marco teórico y demás componentes de la investigación.

### **3.7. Procedimiento de la investigación**

Para el cálculo del caudal máximo en diferentes periodos de retorno del río Achamayo se consideró en primera instancia la caracterización morfométrica de la subcuenca del río Achamayo, en base a la información geográfica de la Zonificación Ecológica y Ambiental (GRJ, 2015), determinándose:

- Área
- Perímetro
- Longitud de cauce más largo
- Ancho promedio
- Factor de forma de Horton
- Coeficiente de compacidad
- Cota mínima y máxima
- Densidad de drenaje
- Pendiente del cauce
- Altitud media

Como segundo punto se determinó el uso de suelos, determinando el área y porcentaje de cada uno de ellos:

- Vegetación arbustiva natural con uso pecuario
- Suelo desnudo
- Pastizales
- Nevados
- Lagos
- Cultivos
- Centros poblados
- Bofedales
- Áreas reforestadas
- Afloramientos rocosos

El tercer paso fue determinar la curva IDF para lo cual se utilizó las precipitaciones máximas en 24 horas reportadas por la estación meteorológica Ingenio, considerando la distribución probabilística de Gumbel.

El cuarto paso correspondió al cálculo del tiempo de concentración (fórmula de Kirpich) para desarrollo del hietograma de tormenta según el método de bloque alterno.

Finalmente, se obtuvo el caudal máximo para cada periodo de retorno según el modelamiento HEC – HMS.

Para la erosión del río Achamayo, se realizó el modelamiento hidráulico del cauce del río, considerando el caudal máximo para un periodo de retorno de 100 años y la topografía de la zona; determinándose así el tirante de agua, velocidad, número de froude, ancho de la sección hidráulica esto para la utilización del método de Lischtvan y Lebediev.

Finalmente, para la propuesta de mitigación de la erosión en el río Achamayo, se diseñó la defensa lateral considerada como espigón, para el mismo que se consideró los siguientes:

- Sección estable o amplitud del cauce.
- Cálculo del tirante.
- Cálculo de la velocidad media.
- Cálculo del número de Froude.
- Cálculo de la altura de dique.
- Cálculo de la profundidad de socavación.
- Dimensionamiento del espigón (altura, pendiente y ancho).
- Estabilidad del terraplén.

- Cálculo de la probabilidad del movimiento de la roca.
- Estabilidad del revestimiento del enrocado.
- Cálculo del diámetro de la roca.

### **3.8. Procesamiento de la información**

Se dio con ayuda de los siguientes softwares:

- Microsoft Excel.
- ArcMap 10.4.1
- Civil 3D 2018 Metric
- Hec – HMS
- Hec – RAS

### **3.9. Técnicas y análisis de datos**

De acuerdo a lo considerado al análisis cuantitativo, para lo cual se utilizó la estadística descriptiva:

- Medida de tendencia central (media).
- Medidas de variabilidad y gráficas.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. Morfometría de la subcuenca del río Achamayo

Tabla 7. Características morfométricas de la subcuenca del río Achamayo.

Parámetros	Valores
Área (km <sup>2</sup> )	245.27
Perímetro (km)	82.09
Longitud del cauce (km)	28.34
Ancho promedio (km)	8.65
Factor de forma de Horton (Kf)	0.04
Coefficiente de compacidad (kc)	1.48
Cota mínima (msnm)	3404.00
Cota máxima (msnm)	4728.00
Densidad de drenaje (Dd)	0.11555
Pendiente del cauce (m/m)	0.05
Altitud media (msnm)	4066.00

En la Tabla 7 se detalla las características morfométricas de la subcuenca del río Achamayo; es dable mencionar que, estas características corresponden hasta el área de estudio mas no la totalidad de la subcuenca del río Achamayo respectivamente.



## 4.2. Uso de suelos

Tabla 8. Uso de suelos en la subcuenca del río Achamayo.

Uso de suelos	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentaje
Vegetación arbustiva natural con uso pecuario extensivo	2.89	1.18
Suelo desnudo	8.03	3.27
Pastizales	216.43	88.24
Nevados	0.85	0.35
Lago y lagunas	0.93	0.38
Cultivos	8.38	3.42
Centros Poblados	0.34	0.14
Bofedales	3.04	1.24
Áreas reforestadas	3.15	1.28
Afloramientos rocosos	1.23	0.50
Total	245.27	100.00

La tabla muestra los diferentes usos de suelo (vegetación arbustiva natural con uso pecuario extensivo, suelo desnudo, pastizales, nevados, lagos y lagunas, cultivos, centros poblados, bodefales, áreas reforestadas y afloramientos rocosos) que se presentan en la subcuenca del río Achamayo, así como de la variación porcentual de los mismos; es dable mencionar que, esto se desarrolló en base a lo establecido por la Zonificación Ecológico y Económica (ZEE, 2015).

## 4.3. Tormenta de diseño

### 4.3.1. Curva IDF

Tabla 9. Curva de Intensidad – Duración – Frecuencia.

Tabla de intensidades - Tiempo de duración												
Frecuencia en años	Duración en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
5	55.5	36.1	28.1	23.5	20.5	18.3	16.6	15.3	14.2	13.3	12.6	11.9
10	64.8	42.2	32.8	27.5	23.9	21.4	19.4	17.9	16.6	15.6	14.7	13.9
25	79.7	51.9	40.4	33.8	29.4	26.3	23.9	22.0	20.4	19.1	18.1	17.1
50	93.1	60.6	47.2	39.5	34.4	30.7	27.9	25.7	23.9	22.4	21.1	20.0
100	108.9	70.9	55.1	46.1	40.2	35.9	32.6	30.0	27.9	26.2	24.7	23.4

En la tabla se muestra los valores concernientes a la curvas intensidad, duración y frecuencia en base a la estación meteorológica de Ingenio.

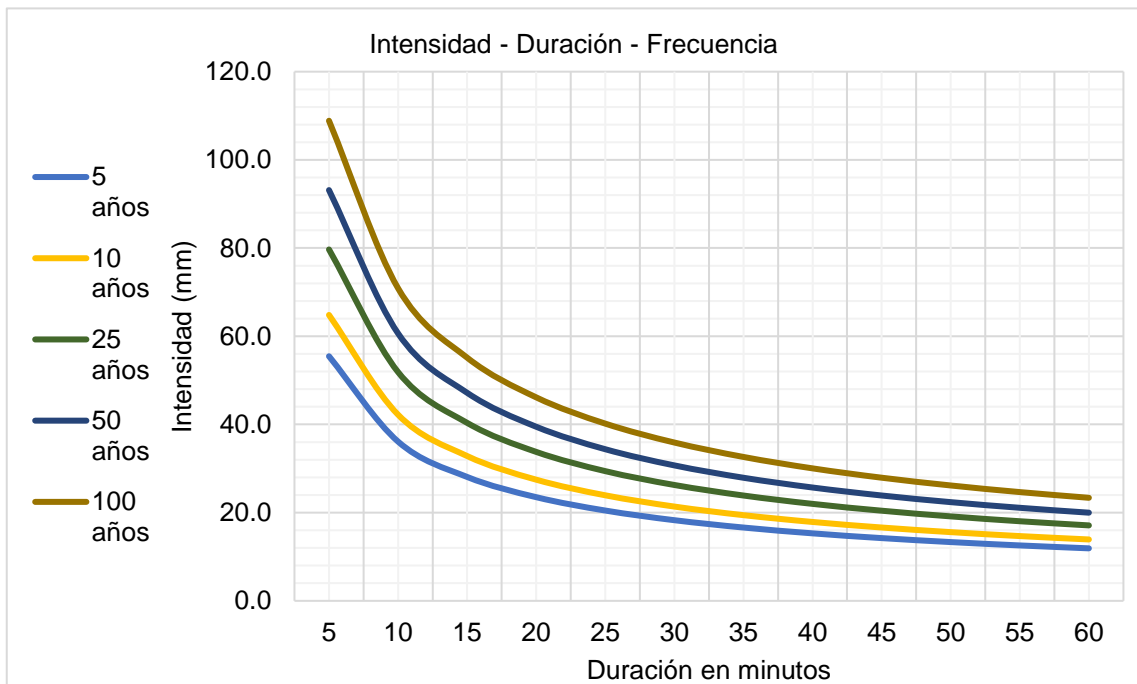


Figura 5. Intensidad–Duración–Frecuencia en la subcuenca del río Achamayo.

La figura representa las curvas intensidad – duración - frecuencia de la tormenta que se podría presentar en la subcuenca del río Achamayo, esto en base a la información de la estación meteorológica de Ingenio.

#### 4.3.2. Tiempo de concentración

De acuerdo a la fórmula de Kirpich:

$$T_c = 0.02L^{0.77}S^{-0.385}$$

Se tiene:

L : 28341.00 m (longitud del cauce más largo).

f : 0.05 m/m (pendiente).

Entonces el tiempo de concentración:

$$T_c = 0.02(0.02)^{0.77}(0.05)^{-0.385} = 174.44 \text{ min}$$

Situación por la cual se consideró un tiempo promedio de 180.00 minutos esto a fin de facilitar los cálculos correspondientes, tal como se muestra en el siguiente numeral:

### 4.3.3. Hietograma

Tabla 10. Hietograma para un tiempo de retorno de 5 años.

Duración (min)	Intensidad (mm/hr)	P. acumulada (mm)	Profundidad incremental (mm)	Profundidad ordenada (mm)	Tiempo (min)		Precipitación (mm)
					De	A	
10	36.11	6.02	6.02	6.02	0	10	0.42
20	23.51	7.84	1.82	1.82	10	20	0.46
30	18.29	9.14	1.31	1.31	20	30	0.51
40	15.30	10.20	1.06	1.06	30	40	0.57
50	13.33	11.11	0.90	0.90	40	50	0.66
60	11.91	11.91	0.80	0.80	50	60	0.80
70	10.82	12.62	0.72	0.72	60	70	1.06
80	9.96	13.28	0.66	0.66	70	80	1.82
90	9.26	13.89	0.61	0.61	80	90	6.02
100	8.68	14.46	0.57	0.57	90	100	1.31
110	8.18	15.00	0.53	0.53	100	110	0.90
120	7.75	15.50	0.51	0.51	110	120	0.72
130	7.38	15.98	0.48	0.48	120	130	0.61
140	7.04	16.44	0.46	0.46	130	140	0.53
150	6.75	16.88	0.44	0.44	140	150	0.48
160	6.49	17.30	0.42	0.42	150	160	0.44
170	6.25	17.70	0.40	0.40	160	170	0.40
180	6.03	18.09	0.39	0.39	170	180	0.39

En la tabla se muestra los valores del hietograma de tormenta para un periodo de retorno de 5 años y un tiempo de concentración de 180 min.

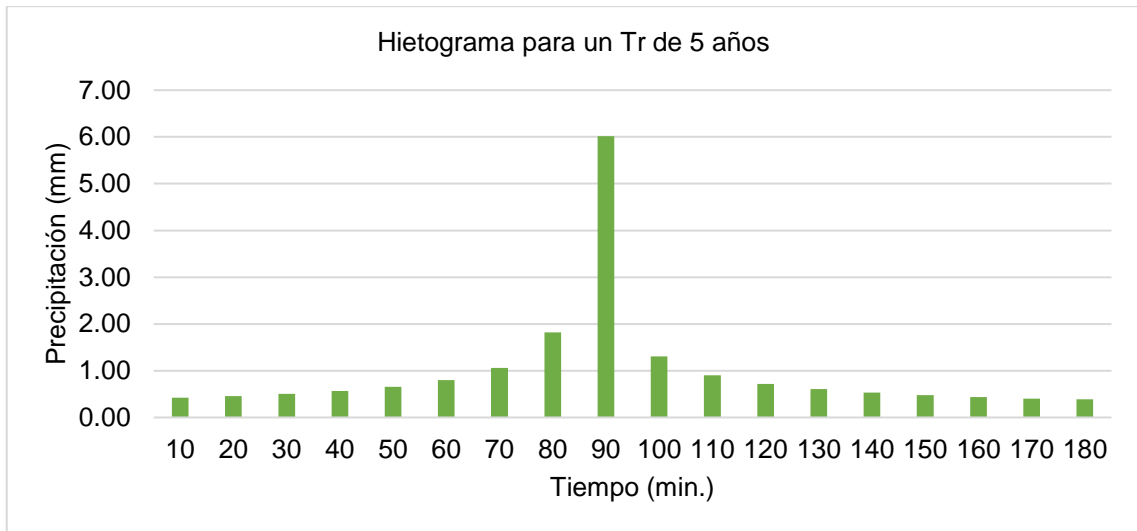


Figura 6. Hietograma para un tiempo de retorno de 5 años.

La figura representa el hietograma de tormenta para un periodo de retorno de 5 años y un tiempo de concentración de 180 min.

Tabla 11. Hietograma para un tiempo de retorno de 10 años.

Duración (min)	Intensidad (mm/hr)	P. acumulada (mm)	Profundidad incremental (mm)	Profundidad ordenada (mm)	Tiempo (min)		Precipitación (mm)
					De	A	
10	42.21	7.03	7.03	7.03	0	10	0.49
20	27.48	9.16	2.12	2.12	10	20	0.53
30	21.38	10.69	1.53	1.53	20	30	0.59
40	17.89	11.93	1.24	1.24	30	40	0.66
50	15.58	12.98	1.06	1.06	40	50	0.77
60	13.92	13.92	0.93	0.93	50	60	0.93
70	12.65	14.76	0.84	0.84	60	70	1.24
80	11.65	15.53	0.77	0.77	70	80	2.12
90	10.83	16.24	0.71	0.71	80	90	7.03
100	10.14	16.90	0.66	0.66	90	100	1.53
110	9.56	17.53	0.62	0.62	100	110	1.06
120	9.06	18.12	0.59	0.59	110	120	0.84
130	8.62	18.68	0.56	0.56	120	130	0.71
140	8.23	19.21	0.53	0.53	130	140	0.62
150	7.89	19.73	0.51	0.51	140	150	0.56
160	7.58	20.22	0.49	0.49	150	160	0.51
170	7.30	20.69	0.47	0.47	160	170	0.47
180	7.05	21.14	0.46	0.46	170	180	0.46

En la tabla se muestra los valores del hietograma de tormenta para un periodo de retorno de 10 años y un tiempo de concentración de 180 min.

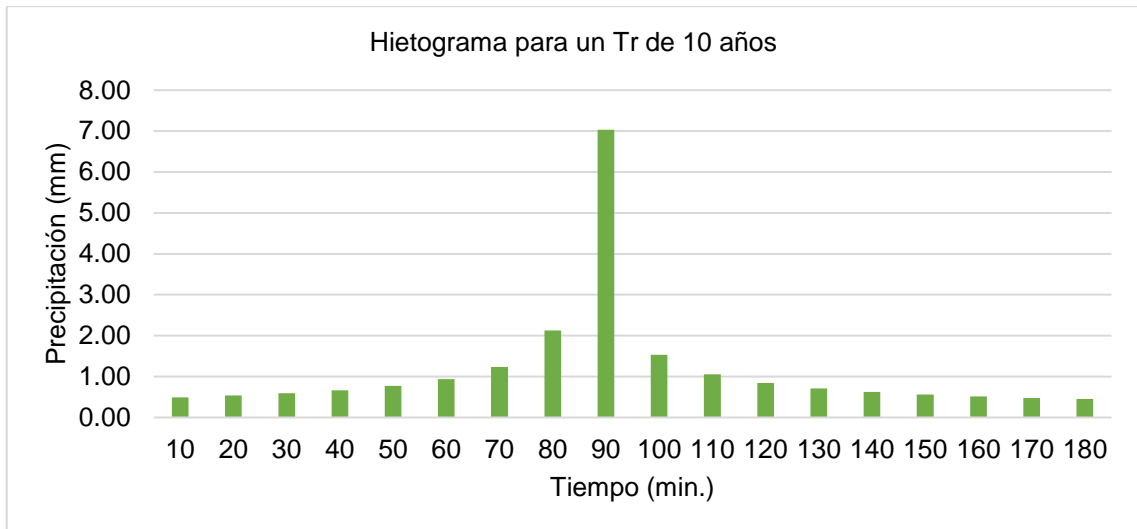


Figura 7. Hietograma para un tiempo de retorno de 10 años.

La figura representa el hietograma de tormenta para un periodo de retorno de 10 años y un tiempo de concentración de 180 min.

Tabla 12. Hietograma para un tiempo de retorno de 25 años.

Duración (min)	Intensidad (mm/hr)	P. acumulada (mm)	Profundidad incremental (mm)	Profundidad ordenada (mm)	Tiempo (min)		Precipitación (mm)
					De	A	
10	51.88	8.65	8.65	8.65	0	10	0.60
20	33.77	11.26	2.61	2.61	10	20	0.66
30	26.27	13.14	1.88	1.88	20	30	0.73
40	21.99	14.66	1.52	1.52	30	40	0.82
50	19.15	15.96	1.30	1.30	40	50	0.95
60	17.10	17.10	1.15	1.15	50	60	1.15
70	15.55	18.14	1.03	1.03	60	70	1.52
80	14.31	19.08	0.95	0.95	70	80	2.61
90	13.31	19.96	0.88	0.88	80	90	8.65
100	12.47	20.78	0.82	0.82	90	100	1.88
110	11.75	21.54	0.77	0.77	100	110	1.30
120	11.13	22.27	0.73	0.73	110	120	1.03
130	10.60	22.96	0.69	0.69	120	130	0.88
140	10.12	23.62	0.66	0.66	130	140	0.77
150	9.70	24.24	0.63	0.63	140	150	0.69
160	9.32	24.85	0.60	0.60	150	160	0.63
170	8.97	25.43	0.58	0.58	160	170	0.58
180	8.66	25.99	0.56	0.56	170	180	0.56

La figura representa el hietograma de tormenta para un periodo de retorno de 25 años y un tiempo de concentración de 180 min.

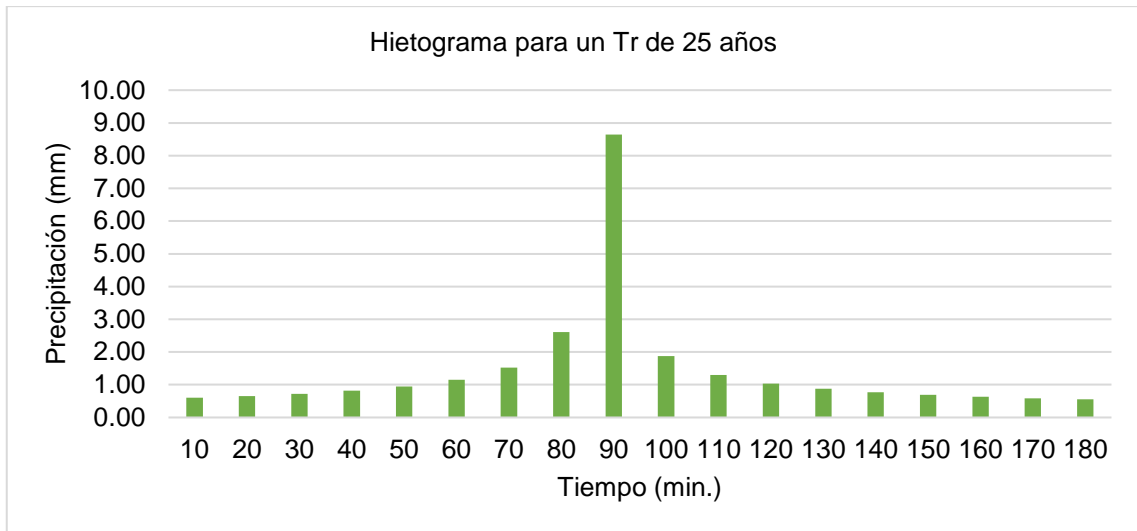


Figura 8. Hietograma para un tiempo de retorno de 25 años.

La figura representa el hietograma de tormenta para un periodo de retorno de 25 años y un tiempo de concentración de 180 min.

Tabla 13. Hietograma para un tiempo de retorno de 50 años.

Duración (min)	Intensidad (mm/hr)	P. acumulada (mm)	Profundidad incremental (mm)	Profundidad ordenada (mm)	Tiempo (min)		Precipitación (mm)
					De	A	
10	60.64	10.11	10.11	10.11	0	10	0.70
20	39.48	13.16	3.05	3.05	10	20	0.77
30	30.71	15.36	2.20	2.20	20	30	0.85
40	25.70	17.13	1.78	1.78	30	40	0.95
50	22.38	18.65	1.52	1.52	40	50	1.11
60	19.99	19.99	1.34	1.34	50	60	1.34
70	18.17	21.20	1.21	1.21	60	70	1.78
80	16.73	22.31	1.11	1.11	70	80	3.05
90	15.55	23.33	1.02	1.02	80	90	10.11
100	14.57	24.28	0.95	0.95	90	100	2.20
110	13.74	25.18	0.90	0.90	100	110	1.52
120	13.02	26.03	0.85	0.85	110	120	1.21
130	12.39	26.84	0.81	0.81	120	130	1.02
140	11.83	27.60	0.77	0.77	130	140	0.90
150	11.34	28.34	0.73	0.73	140	150	0.81
160	10.89	29.04	0.70	0.70	150	160	0.73
170	10.49	29.72	0.68	0.68	160	170	0.68
180	10.13	30.38	0.65	0.65	170	180	0.65

La figura representa el hietograma de tormenta para un periodo de retorno de 10 años y un tiempo de concentración de 50 min.

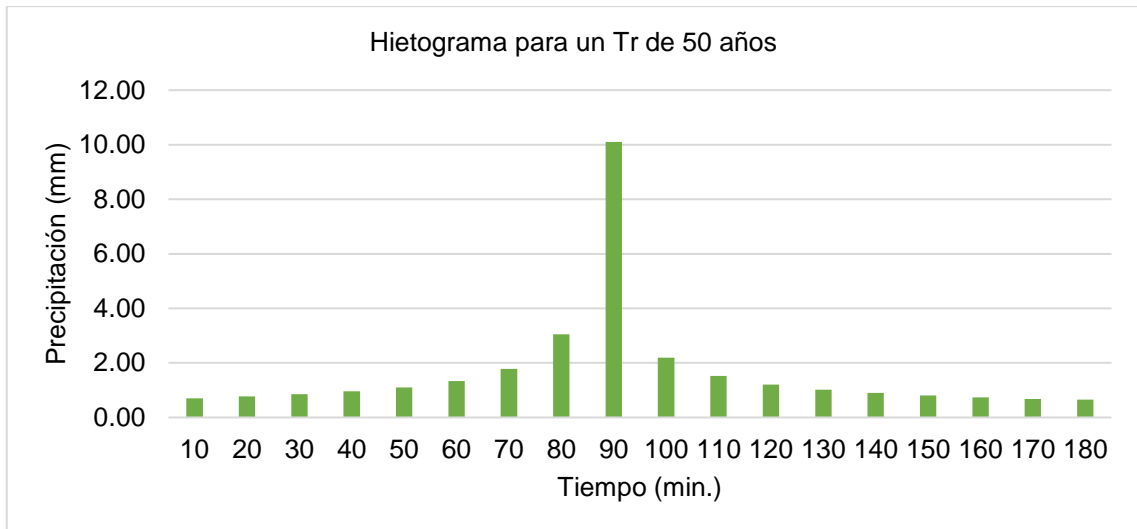


Figura 9. Hietograma para un tiempo de retorno de 50 años.

La figura representa el hietograma de tormenta para un periodo de retorno de 50 años y un tiempo de concentración de 180 min.

Tabla 14. Hietograma para un tiempo de retorno de 100 años.

Duración (min)	Intensidad (mm/hr)	P. acumulada (mm)	Profundidad incremental (mm)	Profundidad ordenada (mm)	Tiempo (min)		Precipitación (mm)
					De	A	
10	70.88	11.81	11.81	11.81	0	10	0.82
20	46.14	15.38	3.57	3.57	10	20	0.90
30	35.90	17.95	2.57	2.57	20	30	0.99
40	30.04	20.03	2.08	2.08	30	40	1.12
50	26.16	21.80	1.78	1.78	40	50	1.29
60	23.37	23.37	1.57	1.57	50	60	1.57
70	21.24	24.78	1.41	1.41	60	70	2.08
80	19.56	26.07	1.29	1.29	70	80	3.57
90	18.18	27.27	1.20	1.20	80	90	11.81
100	17.03	28.39	1.12	1.12	90	100	2.57
110	16.06	29.43	1.05	1.05	100	110	1.78
120	15.21	30.43	0.99	0.99	110	120	1.41
130	14.48	31.37	0.94	0.94	120	130	1.20
140	13.83	32.27	0.90	0.90	130	140	1.05
150	13.25	33.12	0.86	0.86	140	150	0.94
160	12.73	33.95	0.82	0.82	150	160	0.86
170	12.26	34.74	0.79	0.79	160	170	0.79
180	11.84	35.51	0.76	0.76	170	180	0.76

La figura representa el hietograma de tormenta para un periodo de retorno de 100 años y un tiempo de concentración de 180 min.

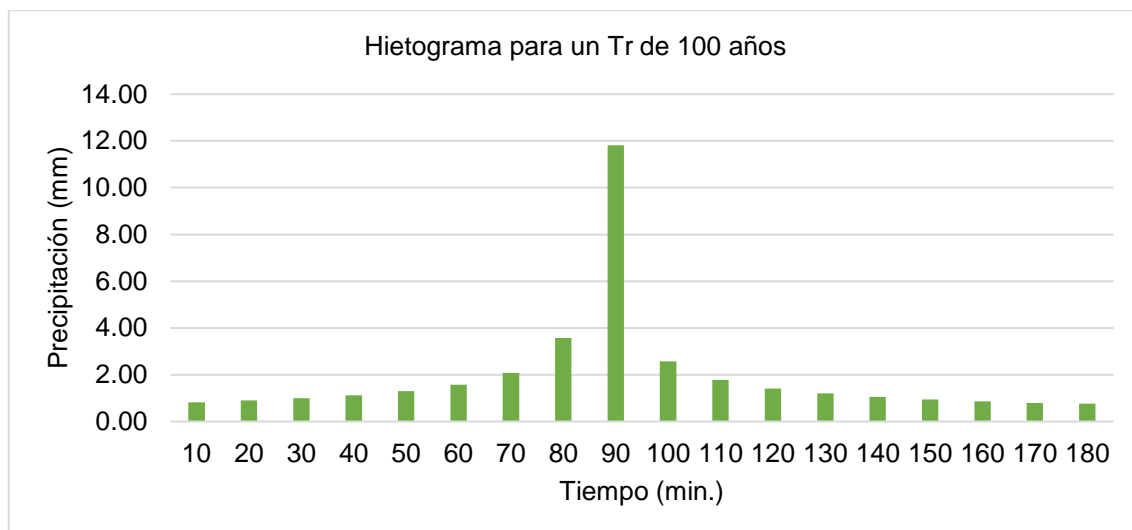


Figura 10. Hietograma para un tiempo de retorno de 100 años.

La figura representa el hietograma de tormenta para un periodo de retorno de 100 años y un tiempo de concentración de 180 min.

Tabla 15. Caudal generado para un tiempo de retorno de 5 años.

Tiempo (min)	Caudal generado (m <sup>3</sup> /s)	Caudal base (m <sup>3</sup> /s)	Caudal total (m <sup>3</sup> /s)	Tiempo (min)	Caudal generado (m <sup>3</sup> /s)	Caudal base (m <sup>3</sup> /s)	Caudal total (m <sup>3</sup> /s)
0.00	0.00	3.00	3.00	190.00	0.20	3.00	3.20
10.00	0.00	3.00	3.10	200.00	0.20	3.00	3.20
20.00	0.00	3.00	3.10	210.00	0.10	3.00	3.10
30.00	0.20	3.00	3.20	220.00	0.10	3.00	3.10
40.00	0.40	3.00	3.40	230.00	0.10	3.00	3.10
50.00	0.70	3.00	3.70	240.00	0.10	3.00	3.00
60.00	1.10	3.00	4.10	250.00	0.00	3.00	3.00
70.00	1.40	3.00	4.50	260.00	0.00	3.00	3.00
80.00	1.60	3.00	4.70	270.00	0.00	3.00	3.00
90.00	1.70	3.00	4.70	280.00	0.00	3.00	3.00
100.00	1.60	3.00	4.60	290.00	0.00	3.00	3.00
110.00	1.50	3.00	4.50	300.00	0.00	3.00	3.00
120.00	1.20	3.00	4.20	310.00	0.00	3.00	3.00
130.00	1.00	3.00	4.00	320.00	0.00	2.90	3.00
140.00	0.80	3.00	3.80	330.00	0.00	2.90	2.90
150.00	0.60	3.00	3.60	340.00	0.00	2.90	2.90
160.00	0.50	3.00	3.50	350.00	0.00	2.90	2.90
170.00	0.40	3.00	3.30	360.00	0.00	2.90	2.90
180.00	0.30	3.00	3.30				

En la tabla se muestran los caudales generados de acuerdo al hietograma para un tiempo de retorno de 5 años; siendo así especificado el caudal base con el que cuenta el río Achamayo.



Tabla 16. Caudal generado para un tiempo de retorno de 10 años.

Tiempo (min)	Caudal generado (m <sup>3</sup> /s)	Caudal base (m <sup>3</sup> /s)	Caudal total (m <sup>3</sup> /s)	Tiempo (min)	Caudal generado (m <sup>3</sup> /s)	Caudal base (m <sup>3</sup> /s)	Caudal total (m <sup>3</sup> /s)
0.00	0.00	3.00	3.00	190.00	0.30	3.00	3.20
10.00	0.00	3.00	3.10	200.00	0.20	3.00	3.20
20.00	0.00	3.00	3.10	210.00	0.20	3.00	3.10
30.00	0.20	3.00	3.20	220.00	0.10	3.00	3.10
40.00	0.40	3.00	3.50	230.00	0.10	3.00	3.10
50.00	0.80	3.00	3.80	240.00	0.10	3.00	3.00
60.00	1.30	3.00	4.30	250.00	0.10	3.00	3.00
70.00	1.70	3.00	4.70	260.00	0.00	3.00	3.00
80.00	1.90	3.00	4.90	280.00	0.00	3.00	3.00
90.00	2.00	3.00	5.00	300.00	0.00	3.00	3.00
100.00	1.90	3.00	4.90	320.00	0.00	3.00	3.00
110.00	1.70	3.00	4.70	340.00	0.00	3.00	3.00
120.00	1.40	3.00	4.40	360.00	0.00	3.00	3.00
130.00	1.10	3.00	4.10	380.00	0.00	2.90	3.00
140.00	0.90	3.00	3.90	400.00	0.00	2.90	3.00
150.00	0.70	3.00	3.70	420.00	0.00	2.90	2.90
160.00	0.50	3.00	3.50	440.00	0.00	2.90	2.90
170.00	0.40	3.00	3.40	460.00	0.00	2.90	2.90
180.00	0.30	3.00	3.30				

En la tabla se muestran los caudales generados de acuerdo al hietograma para un tiempo retorno de 10 años; siendo así especificado el caudal base con el que cuenta el río Achamayo.

Tabla 17. Caudal generado para un tiempo de retorno de 25 años.

Tiempo (min)	Caudal generado (m <sup>3</sup> /s)	Caudal base (m <sup>3</sup> /s)	Caudal total (m <sup>3</sup> /s)	Tiempo (min)	Caudal generado (m <sup>3</sup> /s)	Caudal base (m <sup>3</sup> /s)	Caudal total (m <sup>3</sup> /s)
0.00	0.00	3.00	3.00	190.00	0.30	3.00	3.30
10.00	0.00	3.00	3.10	200.00	0.20	3.00	3.20
20.00	0.10	3.00	3.10	210.00	0.20	3.00	3.20
30.00	0.20	3.00	3.30	220.00	0.10	3.00	3.10
40.00	0.50	3.00	3.60	230.00	0.10	3.00	3.10
50.00	1.00	3.00	4.00	240.00	0.10	3.00	3.10
60.00	1.60	3.00	4.60	250.00	0.10	3.00	3.00
70.00	2.10	3.00	5.10	260.00	0.10	3.00	3.00
80.00	2.40	3.00	5.40	270.00	0.00	3.00	3.00

90.00	2.50	3.00	5.50	280.00	0.00	3.00	3.00
100.00	2.30	3.00	5.40	290.00	0.00	3.00	3.00
110.00	2.10	3.00	5.10	300.00	0.00	3.00	3.00
120.00	1.70	3.00	4.80	310.00	0.00	3.00	3.00
130.00	1.40	3.00	4.40	320.00	0.00	2.90	3.00
140.00	1.10	3.00	4.10	330.00	0.00	2.90	3.00
150.00	0.80	3.00	3.80	340.00	0.00	2.90	2.90
160.00	0.70	3.00	3.70	350.00	0.00	2.90	2.90
170.00	0.50	3.00	3.50	360.00	0.00	2.90	2.90
180.00	0.40	3.00	3.40				

En la tabla se muestran los caudales generados de acuerdo al hietograma para un tiempo retorno de 25 años; siendo así especificado el caudal base con el que cuenta el río Achamayo.

Tabla 18. Caudal generado para un tiempo de retorno de 50 años.

Tiempo (min)	Caudal generado (m <sup>3</sup> /s)	Caudal base (m <sup>3</sup> /s)	Caudal total (m <sup>3</sup> /s)	Tiempo (min)	Caudal generado (m <sup>3</sup> /s)	Caudal base (m <sup>3</sup> /s)	Caudal total (m <sup>3</sup> /s)
0.00	0.00	3.00	3.00	190.00	0.80	3.00	3.80
10.00	0.00	3.00	3.10	200.00	0.60	3.00	3.60
20.00	0.10	3.00	3.10	210.00	0.50	3.00	3.40
30.00	0.30	3.00	3.30	220.00	0.40	3.00	3.30
40.00	0.60	3.00	3.70	230.00	0.30	3.00	3.30
50.00	1.20	3.00	4.20	240.00	0.20	3.00	3.20
60.00	2.00	3.00	5.10	250.00	0.20	3.00	3.10
70.00	2.90	3.00	5.90	260.00	0.10	3.00	3.10
80.00	3.70	3.00	6.70	270.00	0.10	3.00	3.10
90.00	4.30	3.00	7.30	280.00	0.10	3.00	3.00
100.00	4.50	3.00	7.60	290.00	0.10	3.00	3.00
110.00	4.40	3.00	7.40	300.00	0.10	3.00	3.00
120.00	3.90	3.00	7.00	310.00	0.00	3.00	3.00
130.00	3.30	3.00	6.30	320.00	0.00	2.90	3.00
140.00	2.70	3.00	5.70	330.00	0.00	2.90	3.00
150.00	2.10	3.00	5.10	340.00	0.00	2.90	3.00
160.00	1.60	3.00	4.60	350.00	0.00	2.90	2.90
170.00	1.30	3.00	4.30	360.00	0.00	2.90	2.90
180.00	1.00	3.00	4.00				

En la tabla se muestran los caudales generados de acuerdo al hietograma para un tiempo retorno de 50 años; siendo así especificado el caudal base con el que cuenta el río Achamayo.

Tabla 19. Caudal generado para un tiempo de retorno de 100 años.

Tiempo (min)	Caudal generado (m <sup>3</sup> /s)	Caudal base (m <sup>3</sup> /s)	Caudal total (m <sup>3</sup> /s)	Tiempo (min)	Caudal generado (m <sup>3</sup> /s)	Caudal base (m <sup>3</sup> /s)	Caudal total (m <sup>3</sup> /s)
0.00	0.00	3.00	3.00	190.00	2.20	3.00	5.20
10.00	0.00	3.00	3.10	200.00	1.70	3.00	4.70
20.00	0.10	3.00	3.10	210.00	1.30	3.00	4.30
30.00	0.30	3.00	3.30	220.00	1.00	3.00	4.00
40.00	0.80	3.00	3.90	230.00	0.80	3.00	3.80
50.00	1.90	3.00	5.00	240.00	0.60	3.00	3.60
60.00	3.80	3.00	6.80	250.00	0.50	3.00	3.50
70.00	6.20	3.00	9.30	260.00	0.40	3.00	3.30
80.00	8.90	3.00	11.90	270.00	0.30	3.00	3.30
90.00	11.10	3.00	14.10	280.00	0.20	3.00	3.20
100.00	12.20	3.00	15.20	290.00	0.20	3.00	3.10
110.00	12.20	3.00	15.20	300.00	0.10	3.00	3.10
120.00	11.20	3.00	14.20	310.00	0.10	3.00	3.10
130.00	9.70	3.00	12.70	320.00	0.10	3.00	3.00
140.00	7.90	3.00	10.90	330.00	0.10	3.00	3.00
150.00	6.10	3.00	9.10	340.00	0.00	3.00	3.00
160.00	4.70	3.00	7.70	350.00	0.00	3.00	3.00
170.00	3.60	3.00	6.60	360.00	0.00	3.00	3.00
180.00	2.80	3.00	5.80				

En la tabla se muestran los caudales generados de acuerdo al hietograma para un tiempo retorno de 100 años.

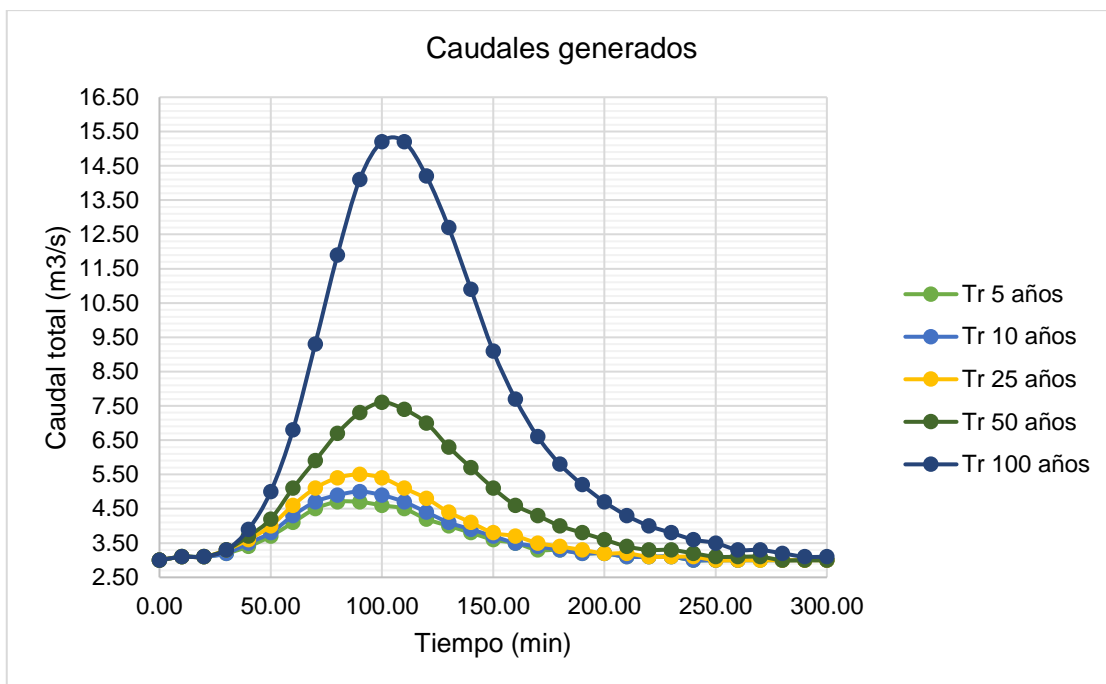


Figura 11. Caudales generados según periodos de retorno.

La figura muestra los caudales generados para diferentes periodos de retorno en la subcuenca del río Achamayo.

#### 4.4. Características hidráulicas del cauce del río Achamayo

Tabla 20. Características hidráulicas del cauce del río Achamayo, Quichuay – Huancayo.

Datos iniciales		
Tipo de cauce:	2	No cohesivo
Caudal:	15.2	m <sup>3</sup> /s
Peso específico:	1.61	Tn/m <sup>3</sup>
Diámetro medio:	140	mm
Exponente variable (x):	0.27	
Periodo de retorno:	100	años
Coefficiente de periodo de retorno:	1	

En la tabla se muestra las características del cauce del río Achamayo, lo concerniente al tipo de cauce resulta 2 por ser no cohesivo.

Tabla 21. Características del cauce del río Achamayo.

Progresiva	Ancho efectivo del cauce (m)	Velocidad media (m/s)	Área de la sección hidráulica (m <sup>2</sup> )	Profundidad media de la sección (m)	a
600.00	41.85	1.73	8.79	0.21	4.90
580.00	13.46	3.85	3.95	0.29	8.72

560.00	24.70	3.48	4.37	0.18	11.05
540.00	53.27	2.70	5.63	0.11	12.08
520.00	64.87	1.94	7.84	0.12	7.94
500.00	32.81	3.41	4.46	0.14	12.90
480.00	43.98	2.13	7.14	0.16	7.16
460.00	47.32	1.22	12.46	0.26	2.97
440.00	97.70	0.93	16.34	0.17	3.06
420.00	28.83	1.84	8.26	0.29	4.23
400.00	12.62	2.25	6.76	0.54	3.41
380.00	8.42	4.02	3.78	0.45	6.86
360.00	11.63	5.70	2.67	0.23	15.22
340.00	23.66	3.21	4.74	0.20	9.38
320.00	28.30	3.23	4.71	0.17	10.68
300.00	20.59	1.95	7.79	0.38	3.73
280.00	8.54	4.93	3.08	0.36	9.72
260.00	14.02	6.11	2.49	0.18	19.35
240.00	21.87	3.63	4.19	0.19	10.93
220.00	50.57	1.82	8.35	0.17	6.05
200.00	25.07	3.49	4.36	0.17	11.21
180.00	9.54	3.20	4.75	0.50	5.09
160.00	23.41	4.79	3.17	0.14	18.15
140.00	38.02	1.97	7.72	0.20	5.70
120.00	28.77	3.78	4.02	0.14	14.04
100.00	13.66	3.64	4.18	0.31	8.02
80.00	13.68	1.91	7.96	0.58	2.74
60.00	8.61	1.95	7.79	0.91	2.08
40.00	26.33	3.10	4.90	0.19	9.51
20.00	8.76	5.28	2.88	0.33	11.09

De la misma forma en esta tabla se muestra otras características hidráulicas del cauce del río Achamayo, tal como ancho efectivo del cauce, velocidad media, área de la sección hidráulica, profundidad media de la sección y el coeficiente “a”.

#### 4.5. Erosión lateral del río Achamayo y propuesta para su mitigación

##### 4.5.1. Erosión lateral del río Achamayo

Tabla 22. Área y volumen de erosión por sección en el río Achamayo.

Progresiva	Área (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Progresiva	Área (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
600	12.86	427.7	280	18.99	637.1
580	29.91		260	44.72	

560	12.79	236.8	240	15.03	241.6
540	10.89		220	9.13	
520	10.72	302	200	10.24	230.8
500	19.48		180	12.84	
480	15.49	309.8	160	13.41	292.8
460	15.49		140	15.87	
440	9.71	218.5	120	21.7	269.1
420	12.14		100	5.21	
400	2.71	212.4	80	9.53	509.9
380	18.53		60	41.46	
360	12.27	251.6	40	11.87	225.9
340	12.89		20	10.72	
320	18.77	336.8			
300	14.91				

En la tabla se muestra el área y volumen de erosión por sección en el río Achamayo; para el cálculo del mismo se consideró un periodo de retorno de 100 años.

#### 4.5.2. Diseño de espigón

Tabla 23. Sección estable o amplitud del cauce (B) de acuerdo al método de Simons y Henderson.

Método de Simons y Henderson $B = K_1 Q^{1/2}$		
Condiciones de fondo de río	$K_1$	B (m)
Fondo y orillas de material cohesivo	3.6	14.04

En la tabla se muestra la sección estable o amplitud del cauce de acuerdo al método de Simons y Henderson.

Tabla 24. Sección estable o amplitud del cauce (B) de acuerdo al método de Altunin – Manning.

Método de Altunin - Manning $B = (Q^{1/2}/S^{1/5}) (n K^{5/3})^{3/(3+5m)}$		
Valores rugosidad de Manning (n)		B (m)
Descripción	n	
Cauce con fondo sólido sin irregularidades =	0.025	9.91
Coefficiente del material del cauce		

Descripción	K
Material aluvial = 8 a 12	12
Coeficiente de tipo de río	
Descripción	m
Para cauces aluviales	1

En la tabla se muestra la sección estable o amplitud del cauce de acuerdo al método de Altunin – Maning.

Tabla 25. Sección estable o amplitud del cauce (B) de acuerdo al método de Blench.

Método de Blench		B (m)
$B = 1.81(Q F_b/F_s)^{1/2}$		
Factores		
Factor de fondo	$F_b$	
Material Grueso	1.2	
Factor de orilla	$F_s$	24.45
Materiales sueltos	0.1	

En la tabla se muestra la sección estable o amplitud del cauce de acuerdo al método de Blench.

Tabla 26. Sección estable o amplitud del cauce (B) de acuerdo al método de Pettis.

Método de Pettis	
$B = 4.44 Q^{0.5}$	
B (m)	
17.31	

En la tabla se muestra la sección estable o amplitud del cauce de acuerdo al método de Pettis.

Tabla 27. Resumen de los valores obtenidos para la sección estable.

Método	B (m)
Método de Simons y Henderson	14.04
Método de Pettis	17.31

Método de Altunin - Manning	9.91
Método de Blench	24.45
Recomendación práctica	70.00
Promedio (B)	27.14
Se adopta (B)	27.00

En la tabla se muestra el resumen de los diversos valores obtenidos para la sección estable, de lo cual se adopta 27 m.

Tabla 28. Cálculo del tirante.

Método de Manning - Strickler (B > 30 m)		
$t = ((Q / (Ks * B * S^{1/2}))^{3/5}$		t (m)
Valores para Ks para cauces naturales (Inversa de n)		
Descripción	Ks	
Torrentes con derrubio grueso y acarreo móvil = 19 - 22	20	
Caudal de diseño (m <sup>3</sup> /seg)		0.37
Q =	15.20	
Ancho estable - Plantilla (m)		
B =	27.00	
Pendiente del tramo de estudio		
S =	0.02200	

La tabla especifica el cálculo del tirante, en base al método de Manning – Strickler, resultando este de 0.37 m.

Tabla 29. Cálculo de la velocidad media.

Formula de Manning : Velocidad media (m/s) >>>> $V = R^{2/3} * S^{1/2} / n$			
Radio hidráulico: $R = A / P$		R:	Pendiente de fondo (S)
Tirante medio (y )	Talud de borde (Z)		S = 0.02200
$y = \frac{0.3}{7}$	Z = 1		Coeficiente de rugosidad de Manning
Ancho de equilibrio (B)		0.36	Descripción
B =	27.00		n
Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)		Cauces de río con acarreo irregular = 0.030 - 0.029
A = $\frac{9.8}{5}$	P = 27.31		0
	V =	2.50	m/s

El cálculo de la velocidad media, se detalla en la Tabla 29 esto según la fórmula de Manning, siendo esta de 2.50 m/s.



Tabla 30. Cálculo del número de Froude.

Numero de Froude : $F = V / (g * y)^{1/2}$					
Velocidad media de la corriente (m/s)	Aceleración de la gravedad	Profundidad hidráulica media = Área mojada / Ancho superficial:	Froude (F)		
V =	2.50	g = 9.81	y = A / B	y = 0.36	1.32
Tipo de flujo : Flujo supercrítico					

En la tabla se muestra el cálculo del número de Froude, resultando de este que se presenta un flujo supercrítico.

Tabla 31. Cálculo de la altura de dique.

Bordo libre (BL) = $\phi e$				Altura de muro (H <sub>D</sub> )	
Caudal máximo m <sup>3</sup> /s	$\phi$	$\phi$	$e = V^2/2g$	BL	H <sub>M</sub> = y + BL
3000.00	4000.00	2			y : Tirante de diseño (m)
2000.00	3000.00	1.7			y = 0.37
1000.00	2000.00	1.4			H <sub>M</sub> = 0.72
500.00	1000.00	1.2	1.1	0.32	0.35
100.00	500.00	1.1			Por procesos constructivos H <sub>M</sub> = 3.00

La tabla detalla la altura del dique, consideraciones en base al caudal presente.

Tabla 32. Características geométricas del dique.

Altura promedio de dique (m):	3.00
Altura promedio de enrocado (m):	3.00
Ancho de corona (m):	2.00
Talud	H V
	Cara húmeda 1 : 1
	Cara seca 1 : 1
Área (m <sup>2</sup> ):	12.00

En la tabla se muestra las características geométricas del dique, la altura del mismo, el ancho promedio del enrocado y el ancho de la corona.

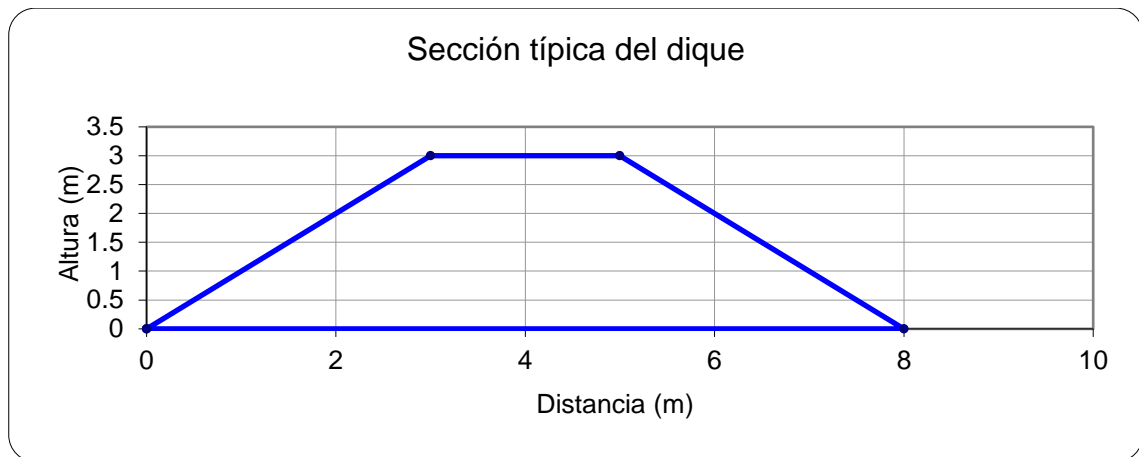
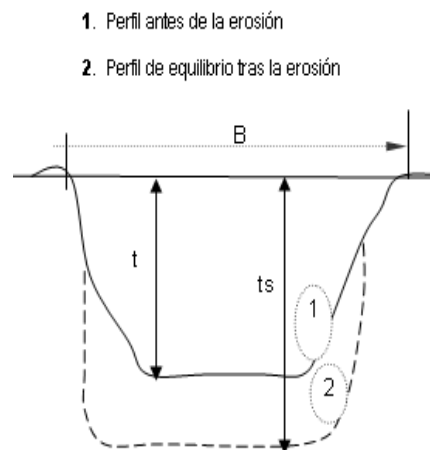


Figura 12. Sección típica del dique.

En la figura se representa la sección del dique, en base a los datos obtenidos en la Tabla 32.

Tabla 33. Cálculo de la profundidad de socavación (Hs).

Método de LL. List Van Levediev				
Suelos granulares - No Cohesivos				
$t_s =$		$((a t^{5/3}) / (0.68 D_m^{0.28} \beta))^{1/(x+1)}$		
Suelos cohesivos				
$t_s =$		$((a t^{5/3}) / (0.60 g_s^{1.18} \beta))^{1/(x+1)}$		
Dónde:				
$t_s =$	Tirante después de producirse la socavación (m)			
$t =$	Tirante sin socavación (m)			
$t =$	0.37 m			
$D_m =$	Diámetro medio de las partículas (mm)			
$D_m =$	120 mm			
$g_s =$	Peso específico del suelo (Kg/m <sup>3</sup> )			
$\mu =$	Coeficiente de contracción			
$a =$	Coeficiente			
$a =$	$Q / (t_m^{5/3} B \mu)$			
Tirante medio ( $t_m$ ) = A/B	Q (Caudal de diseño)	Coeficiente de contracción ( $\mu$ )	Ancho estable B	a
$t_m = 0.36$	15.20	$\mu = \frac{0.9}{6}$	B = 27.00	3.15
X : Exponente que depende de : $D_m$ para suelos granulares no cohesivos y $g_s$ para suelos cohesivos.		Coeficiente por tiempo de retorno : $\beta$	Tirante de socavación suelos granulares - no cohesivos	
X	1/x+1		$t_s = ((a t^{5/3}) / (0.68 D_m^{0.28} \beta))^{1/(x+1)}$	
x = 0.27	0.78		$\beta = \frac{1.0}{0}$	$t_s = 0.32$
Profundidad de socavación (Hs)				
Hs:		$t_s - t$		
Hs:		-0.05 m		




En la tabla detalla el cálculo de la profundidad de socavación, teniendo en consideración que no es un suelo cohesivo.

Tabla 34. Dimensionamiento del espigón.

Tipo :	Dimensionamiento		
Parcialmente Sumergibles	Longitud : $L = L_A + L_T$		
Características :	Longitud de trabajo >>>> $y < L_T < B/4$		
Son más baratos, pero causan menos sedimentación, y crean turbulencia durante el proceso de sumergencia, por lo que las protecciones al pie de los taludes deben ser de mayor longitud.	Tirante medio (m): $y =$	0.37	Progresivas 0+000
	Ancho medio del cauce (m): $B =$	27.00	
	>>>>>> 0.37 < $L_T < 6.75$		Longitud de trabajo (m) corregida por el $\alpha$ :
	Seleccionamos >>>> $L_T =$	6.70	
	Orientación >>>> Normal al Flujo		
	Ángulos de inclinación ( $\alpha$ ) >>>>	60 °	5.80
	Longitud de anclaje >>>> $L_A = 0.1$ a $0.25 L_T$		
	$L_A = 1.68$	Será empotrado al dique enrocado	
Longitud de espigón >>>>	$L = L_A + L_T$		
	$L = 8.38$		

Las dimensiones del espigón se detalla en la Tabla 34, especificándose la longitud de trabajo (6.70 m), longitud de anclaje o empotramiento (1.68 m) y la longitud total del espigón que resultó de 8.38 m.

Tabla 35. Cálculo de la altura y pendiente.

Cálculo de la altura y pendiente		Taludes	V	H
		Espalda	1 : 1.25 a 1 : 3.0	
		$T_E =$	1	: 1.25
		Frente	1 : 1.25 a 1 : 3.0	
		$T_F =$	1	: 1.25
Pendiente de la cresta : S	$H_{E1}$	Morro	1 : 2.5 a 1 : 5.0	
S =	-	$T_M =$	1	: 2.5
Cálculo de altura de espigón >>>>>>> HE :		Corona de espigón :		
$y = 0.37$	0.25			
Borde libre : BL	>>>> $H_E$			C = 2
$H_{E1} = 0.25$	0.50			

En la tabla se muestra el cálculo de la altura y pendiente del espigón.

Tabla 36. Estabilidad del terraplén.

Fuerza resistente (Kg/m)			Análisis de estabilidad
R = W * Tag Ø			
W = Peso del terraplén		R	R > P =====> El dique es estable a la presión del agua
Área dique (m <sup>2</sup> )	12.00	13,528.01	
Peso específico del material (Kg / m <sup>3</sup> )	1610.00		
W =	19320.00		
Angulo de fricción interna en grados(tipo de material de rio)			
Ø	35		
Tag Ø	0.70		
Presión del agua (Kg/m <sup>2</sup> )		P	
P = P <sub>w</sub> * t <sup>2</sup> /2		68.45	
P <sub>w</sub>	1000.00		
Tirante			
t	0.37		

La estabilidad del terraplén se muestra en la Tabla 36, para el mismo que se consideró la fuerza resistente, el área de dique, el peso específico del material y el ángulo de fricción, resultando que el dique es estable a la presión del agua.

Tabla 37. Probabilidad del movimiento de la roca.

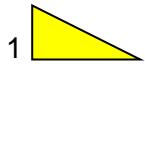
F <sub>roca (D50)</sub> = 0.56 * (V <sup>2</sup> /2g) * (1/ D <sub>50</sub> ) * (1/ Δ)		F <sub>roca</sub> (%)
Velocidad del caudal de diseño (V)		
Velocidad:	2.50	0.18
$\Delta = \frac{\gamma_s - \gamma_a}{\gamma_a}$	Δ	
Peso específico de la roca (cantera) Kg/m <sup>3</sup>	1.64	
$\gamma_s =$	2640.00	
Peso específico del agua Kg/m <sup>3</sup>		
$\gamma_a =$	1000.00	
Diámetro medio de la roca (D <sub>50</sub> )		
D <sub>50</sub>	= 0.60	

En la tabla se muestra el cálculo de la probabilidad del movimiento de la roca.

Tabla 38. Estabilidad del revestimiento del enrocado.

Esfuerzo máximo cortante actuante		Esfuerzo cortante críticos		Verificación =====>
$\tau_a = \gamma_a t S$		$\tau_c = C(\gamma_s - \gamma_a) D_{50} K$		
Peso específico del agua Kg/m <sup>3</sup>	8.14	Peso específico del agua Kg/m <sup>3</sup>	76.26	Sí

$\gamma_a =$ 1000.00	$\gamma_a =$ 1000.00	$\tau_a < \tau_c$
Tirante de diseño (m)	Peso específico de la roca (cantera) Kg/m <sup>3</sup>	
t = 0.37	$\gamma_s =$ 2640.00	El revestimiento del enrocado es estable
Pendiente tramo de estudio	Factor de talud (K)	
S = 0.02200	$K = \sqrt{1 - \frac{\text{sen}^2 \alpha}{\text{sen}^2 \phi}}$	
	Angulo del Talud ( $\alpha$ )	
	Z = 2	
	$\alpha$	
	2 6.57 °	
	Angulo de fricción interna del material (Enrocado) ( $\Phi$ )	
	$\Phi = 45$	
	Factor de talud (K)	
	K = 0.775	
	Coefficiente de Shields	
	C = 0.100	



En la tabla se muestra el cálculo de la probabilidad del movimiento de la roca.

Tabla 39. Cálculo del diámetro de la roca de acuerdo a la fórmula de Maynard.

Altura hidráulica (m)	Velocidad en el centro del cauce (m/s)	Coefficiente C <sub>1</sub>	Coefficiente por ubicación de roca C <sub>2</sub>	F = C <sub>2</sub> V / (g y) <sup>0.5</sup>	d <sub>50</sub> = t C <sub>1</sub> F <sup>3</sup>
0.37	2.50	0.25	1.25	1.64	0.41
			D <sub>50</sub> =	0.41	m
			D <sub>100</sub> =	0.82	m

Para la estimación del diámetro de la roca se consideró tres fórmulas de las cuáles en la Tabla 39 es la Maynard, resultando un diámetro de 0.41 m.

Tabla 40. Cálculo del diámetro de la roca de acuerdo a la fórmula de R.A. Lopardo.

$g_s$	$g$	Vel. media	$f$	Talud	$q$	W (Peso)			$g_s$	$D_s$	$D_s$
Tn/m <sup>3</sup>	Tn/m <sup>3</sup>	(m/s)	(°)		(°)	KG	Tn	Lb	pcf	ft	(m)
2.68	1.00	2.50	5.00	2.00	6.57	140.13	0.14	308.93	167.31	1.52	0.46

Para la estimación del diámetro de la roca se consideró tres fórmulas de las cuáles en la Tabla 40 es la L. R. Lopardo, resultando un diámetro de 0.46 m.

Tabla 41. Cálculo del diámetro de la roca de acuerdo a la fórmula de la California Division of Highways.

$g_s$	$g$	Velocidad media	$f$	Talud	$q$	$\Delta$	$f$	$d_{50}$
Tn/m <sup>3</sup>	Tn/m <sup>3</sup>	(m/s)	(°)		(°)			(m)
2.63	1.00	2.50	3.80	2.00	2.657	1.63	0.687	0.40

Para la estimación del diámetro de la roca se consideró tres fórmulas de las cuáles en la Tabla 40 es la de la California Division of Highways, resultando un diámetro de 0.40 m.

## **CAPÍTULO V**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **5.1. Morfometría de la subcuenca del río Achamayo**

Para el cálculo del caudal máximo en diferentes periodos de retorno del río Achamayo, se consideró lo postulado por García (2018), Fernández (2015), Huerta y Loli (2014) para lo cual es primera instancia se determinó la morfometría de la subcuenca del río Achamayo hasta el punto de estudio ubicado en el distrito de Quichuay tal como se muestra en la Tabla 7, estos fundamentados en lo descrito por Lux (2012).

#### **5.2. Uso de suelos**

Otra consideración importante fue el uso de suelos (Tabla 8) el mismo que se basó en lo estudiado en la Zonificación Ecológica y Económica (GRJ, 2015) de lo cual se muestra claramente que son los pastizales son de mayor uso (88.24 %) mientras que, los centros poblados sólo son el 0.14 % del área de la subcuenca.

### **5.3. Tormenta de diseño**

para el cálculo de las curvas IDF se recurrió a las precipitaciones máximas en 24 horas de la estación meteorológica de Ingenio en base a la distribución probabilística de Gumbel tal como se detalla en la Tabla 9, el tiempo de concentración es otro factor importante para la determinación del hietograma de tormenta (Chow, 2004) para lo que recurrió a la fórmula de Kirpich resultando que el tiempo de concentración es de 174.44 min siendo así que elaboró hietogramas con duración de 180 min con el método de bloque alterno tal como recomienda el Manual de hidrología, hidráulica y drenaje (MTC, 2008) tal como se muestra en la Tabla 10 hasta la Tabla 14 considerando periodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años; finalmente se calculó el caudal máximo para cada uno de los periodos de retorno con ayuda del modelo HEC – HMS, obteniéndose un caudal máximo para 100 años de 15.20 m<sup>3</sup>/s (el mismo que se utilizó en los diseños posteriores).

### **5.4. Características hidráulicas del cauce del río Achamayo**

Para ello se consideró las características tal como se muestra en la Tabla 20 y Tabla 21; basados en el tipo de cauce que es 2 (no cohesivo), el caudal máximo de 15.2 m<sup>3</sup>/s esto considerando un periodo de retorno de 100 años, el diámetro medio del agregado existente de 140 mm, el exponente de la variable (x) de 0.27 considerando suelo no cohesivo y el diámetro de 140 mm y el coeficiente de periodo de retorno de 1; asimismo, se consideró el ancho efectivo del cauce, la velocidad media, el área de la sección hidráulica, la profundidad media de la sección y el coeficiente a de la sección de acuerdo al caudal; cabe mencionar



que esta información se obtuvo con ayuda del modelo HEC – RAS (modelamiento hidráulico).

### **5.5. Erosión lateral del río Achamayo y propuesta su mitigación**

La erosión del río Achamayo al ser consecuencia de la crecida del río, puesto que se pone en movimiento las partículas que se encuentran en equilibrio (Guitelman y Pérez, 1999), fue determinada según el método de Lischtvan y Lebediev de obteniéndose el área por sección transversal y el volumen del mismo tal como se detalla en la Tabla 22; el mismo que sirvió como base para el planteamiento de la propuesta de mitigación de la erosión, considerándose las progresivas 00+140 – 00+160, 00+260 – 00+280, 00+300 – 00+320, 00+460 – 00+480, 00+580 – 00+600 correspondientemente.

La utilización de este método también se comparte con diversas investigaciones como las de Cifuentes y Plazas (2017) y Rojas (2014).

Para su mitigación se consideró lo ya detallado (análisis hidrológico e hidráulico del río Achamayo) teniendo en cuenta que las zonas con mayor erosión son las ubicadas entre las siguientes progresivas: 00+140 – 00+160, 00+260 – 00+280, 00+300 – 00+320, 00+460 – 00+480, 00+580 – 00+600. En este contexto según Suárez (2001) menciona que de entre las estructuras que mayor efectividad presenta para el control de la erosión en ríos poco profundos destacan los espigones, pues protegen la orilla y a la vez desvían la corriente, incrementando la velocidad del agua por la reducción de la sección del río, aumentando el gradiente y generando macroturbulencia intensa; situación por la cual se propone 10 espigones en ambas márgenes del río, cuyo cálculo hidráulico dependió del caudal máximo obtenido en un periodo de retorno de 100

años (en base al modelo HEC - HMS) este para la determinación de la sección estable o amplitud de cauce (B) según el método de Simons y Henderson, método de Altunin – Manning, el método de Blench y método de Pettis del mismo que se obtuvo un promedio 27.00 m, mientras que, para el cálculo del tirante se consideró el método de Manning – Strickler esto a fin de determinar la velocidad de flujo y el número de Froude para dimensionar el dique, resultando con una altura de 3.00 m, ancho de corona de 2.00 m con, esto con talud de 1 : 1; cabe mencionar que, la turbulencia generada por los espigones pueden producir remolinos o vórtices fuertes que generen a su socavación (Suárez, 2001), situación por la cual se calculó la socavación generalizada para estimar la altura del colchón antisocavante siendo este como mínimo de 0.30 m; el cálculo estructural del espigón se basó en el dimensionamiento de la longitud total, longitud de trabajo y longitud de anclaje; así como de la inclinación y la altura, resultando de ello que la longitud de trabajo es 6.70 m, longitud de anclaje de 1.68 m y longitud total de 8.38 m; otro aspecto importante es la estabilidad de la estructura para lo cual se analizó la estabilidad del terraplén, la probabilidad del movimiento de la roca y la estabilidad del revestimiento del espigón; y como parte final del diseño es la determinación del diámetro de la roca que conformará el espigón esto en base a la fórmula de Maynard, fórmula de R. A. Lopardo y fórmula de la California Division of Highways resultando en promedio de 0.40 m.

## CONCLUSIONES

1. Se concluye que se tiene un caudal de 15.20 m<sup>3</sup>/s para un periodo de retorno de 100 años, la cual influye significativamente en la erosión lateral del río Achamayo, haciendo un total de 4,702.80 m<sup>3</sup>; para mitigar la erosión en el río se propone medidas estructurales siendo 8 espigones semi sumergidos en ambas márgenes del río, con una longitud de trabajo de 6.70 m, longitud de anclaje 1.68 m, haciendo una longitud total de 8.38 m y con un diámetro de roca promedio de 0.40 m.
2. Se concluye que la morfometría de la cuenca está dada por un área de 245.27 km<sup>2</sup>, un perímetro de 82.09 km, longitud del cauce 28.34 km, el ancho promedio de 8.65 km, el factor de forma de Horton (Kf) de 0.04, coeficiente de compacidad (kc) de 1.48, cota mínima de 3404.00 msnm, cota máxima de 4728.00 msnm, densidad de drenaje de 0.12, pendiente del cauce de 0.05 m/m y altitud media de 4066.00 msnm.
3. Se concluye que el uso de suelos de la subcuenca está dado por vegetación arbustiva en 1.18 %, suelo desnudo en 3.27 %, pastizales en 88.24 %, nevados en 0.35 %, lagos y lagunas en 0.38 %, cultivos en 3.42 %, centros poblados en 0.14 %, bofedales en 1.24 %, área reforestadas en 1.28 % y afloramientos rocosos en 0.50 %.
4. Se concluye que con la tormenta de diseño se determinó los caudales máximos en diferentes periodos de retorno del río Achamayo, resultando para un periodo de 5 años de 4.70 m<sup>3</sup>/s, para un periodo de 10 años de 5.0 m<sup>3</sup>/s, para un periodo de 25 años de 5.50 m<sup>3</sup>/s, para un periodo de 50 años de 7.60 m<sup>3</sup>/s y para un periodo de 100 años de 15.20 m<sup>3</sup>/s.

5. Se concluye que dentro de las características hidráulicas se tiene el tipo de cauce que es 2 (no cohesivo), el caudal máximo de  $15.2 \text{ m}^3/\text{s}$  esto considerando un periodo de retorno de 100 años, el diámetro medio del agregado existente de 140 mm, el exponente de la variable (x) de 0.27 considerando suelo no cohesivo y el diámetro de 140 mm y el coeficiente de periodo de retorno de 1; asimismo, se consideró el ancho efectivo del cauce, la velocidad media, el área de la sección hidráulica, la profundidad media de la sección y el coeficiente a de la sección de acuerdo al caudal; cabe mencionar que esta información se obtuvo con ayuda del modelo HEC – RAS (modelamiento hidráulico).

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que para el análisis de sistema de reducción de erosión tener presente también el peligro de inundación.
2. Se recomienda a fin de reducir la erosión en ríos, considerar adicionalmente medidas no estructurales tales como el manejo de la cuenca hidrográfica al ser el ente que regula los caudales.
3. De darse el caso que al analizar hidráulicamente un río se viese resaltante la altura de inundación, la misma que afectara zonas aledañas, considerar otras medidas estructurales como la de gaviones o muros de contención.
4. Se recomienda aplicar la metodología utilizada en tesis similares a fin de ampliar la investigación.
5. Se recomienda a las autoridades competentes plantear los espigones considerados en esta investigación para mitigar la erosión general del río.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anaya, O. (2012). *Caracterización morfométrica de la cuenca hidrográfica Chinchao, distrito de Chinchao, provincia Huánuco, región Huánuco*. Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación administración, economía, humanidades y ciencias sociales* (Tercera). Colombia.
- Carrasco, S. (2013). *Metodología de la investigación científica*. Lima - Perú: San Marcos.
- Chow, V. (2004). *Hidráulica de canales abiertos*.
- Cifuentes, J., & Plazas, C. (2017). *Susceptibilidad a la erosión de los suelos ribereños del río Magdalena mediante análisis geológico y geotécnico - área urbana de Neiva*. Universidad de La Salle.
- El Comercio. (2018, October 26). *Loreto: erosión fluvial destruye 10 viviendas en comunidades de Belén*. p. 1. Retrieved from <https://elcomercio.pe/peru/loreto/loreto-erosion-fluvial-destruye-10-viviendas-comunidad-belen-noticia-571757>
- FAO. (1980). *Metodología provisional para la evaluación de degradación de los suelos*. Roma.
- Fernández, J. (2015). *Propuesta de restauración del tramo urbano del río Rímac mediante la aplicación de bioingeniería*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- García, A. (2018). *Diseño hidráulico y estructural de obras de protección frente a erosión e inundación del río Balsayacu en el Centro Poblado de Balsayacu, distrito de Campanilla, provincia de Mariscal Cáceres - región San Martín*.

Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto.

GRJ. (2015). *Memoria descriptiva del estudio cultural del departamento de Junín a escala 1: 100 000* (p. 185). p. 185. Huancayo - Perú: Gobierno Regional de Junín.

Guitelman, A., & Pérez, S. (1999). *Erosión y socavación* (p. 55). p. 55. Buenos Aires - Argentina: Universidad de Buenos Aires.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación. In *Mc Graw Hill* (5°). México D.F.

Huerta, P., & Loli, O. (2014). *Erosión hídrica en la cuenca alta del río Moche*. 13(1), 8.

Lux, B. (2012). *Conceptos básicos de morfometría de cuencas hidrográficas* (p. 8). p. 8. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

Martín, J. (2013). Erosión, sedimentación y restauración de ríos. Ejemplos de ingeniería e investigación. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 4, 05–18.

Retrieved from  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222013000500001&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222013000500001&lng=es&tlng=es).

MTC. (2008). *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje* (Primera). Lima - Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Pedraza, A. (2015). *Estimación de la erosión hídrica mediante dos métodos de ecuación universal de pérdida de suelo (EUPS) en la cuenca del río Chapingo, Texcoco*. Universidad Autónoma del Estado de México.

Rojas, F. (2014). *Bases de diseño hidráulico para los encauzamientos o canalizaciones de ríos*. Universidad Central del Ecuador.

- Schreider, M., Scacchi, G., Franco, F., Fuentes, R., & Moreno, C. (2001). Aplicación del método de Lischtvan y Lebediev al cálculo de la erosión general. *Ingeniería Hidráulica En México*, XVI(1), 15–26.
- SENAMHI. (2017). Datos históricos. Retrieved from <http://www.senamhi.gob.pe/?p=data-historica>
- Suárez, J. (2001). *Control de erosión en zonas tropicales* (Primera). Bucaramanga-Colombia: División Editorial y de Publicaciones Universidad Industrial de Santander.
- ZEE. (2015). *Memoria descriptiva del estudio hidrológico y de cuencas del departamento de Junín a escala 1:10000* (Primera, Ed.). Junin-Peru: Zoonificación ecológica y económica de la region Junín.



## **ANEXOS**

**ANEXO N° 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA**

Problema	Objetivos	Justificación	Hipótesis	Variables	Metodología
<p><b>Problema general:</b> ¿Qué influencia tiene el caudal en la erosión general del río Achamayo para su mitigación, Quichuay – Huancayo?</p> <p><b>Problemas específicos:</b> a) ¿Cuál es la morfometría de la cuenca para determinar la erosión general del río Achamayo para su mitigación, Quichuay – Huancayo? b) ¿Cuál es el uso de suelos de la cuenca para determinar la erosión general del río Achamayo para su mitigación, Quichuay – Huancayo? c) ¿Cuál es la tormenta de diseño para determinar la erosión general del río Achamayo para su mitigación, Quichuay – Huancayo? d) ¿Cuál son las características hidráulicas del cauce para determinar la erosión general del río Achamayo para su mitigación, Quichuay – Huancayo?</p>	<p><b>Objetivo general:</b> Evaluar la influencia que tiene el caudal en la erosión general del río Achamayo para su mitigación, Quichuay – Huancayo.</p> <p><b>Objetivos específicos:</b> a) Determinar la morfometría de la cuenca para determinar la erosión general del río Achamayo para su mitigación, Quichuay – Huancayo. b) Especificar el uso de suelos de la cuenca para determinar la erosión general del río Achamayo para su mitigación, Quichuay – Huancayo. c) Establecer la tormenta de diseño para determinar la erosión general del río Achamayo para su mitigación, Quichuay – Huancayo. d) Determinar las características hidráulicas del cauce para determinar la erosión general del río Achamayo para su mitigación, Quichuay – Huancayo.</p>	<p><b>Justificación práctica:</b> La investigación contribuye a resolver un problema real que es la erosión lateral inminente del río Achamayo en el distrito de Quichuay, provincia de Huancayo y región Junín.</p> <p><b>Justificación metodológica:</b> Con la investigación se propone estrategias para la generación de conocimientos en el campo de la hidráulica de ríos, sobre todo en la mitigación del fenómeno lateral de ríos.</p>	<p><b>Hipótesis general:</b> El caudal influye significativamente en la erosión general del río Achamayo para su mitigación, Quichuay – Huancayo.</p> <p><b>Hipótesis específicas:</b> a) La morfometría de la cuenca para determinar la erosión general del río, está dada por el área, perímetro, longitud de cauce más largo, ancho promedio, factor de forma de Horton, el coeficiente de compacidad, entre otros. b) El uso de suelos de la cuenca para determinar la erosión general del río está en función al área y el número curva. c) La tormenta de diseño para determinar la erosión general del río Achamayo, está dada por la intensidad, frecuencia y el tiempo de concentración. d) Las características hidráulicas del cauce del río Achamayo, corresponden a las propiedades físicas del cauce y del caudal que circula por el mismo.</p>	<p><b>Variable independiente:</b> Caudal máximo.</p> <p><b>Dimensiones:</b> - Morfometría de la cuenca. - Uso de suelos. - Tormenta de diseño.</p> <p><b>Variable dependiente:</b> Erosión general</p> <p><b>Dimensiones:</b> - Características hidráulicas del cauce.</p>	<p><b>Método:</b> Método científico.</p> <p><b>Tipo:</b> Aplicada.</p> <p><b>Nivel:</b> Descriptivo.</p> <p><b>Diseño:</b> No experimental.</p> <p><b>Población:</b> Corresponde al río Achamayo, ubicado en el distrito de Quichuay, provincia de Huancayo de la región Junín.</p> <p><b>Muestra:</b> De acuerdo al método no probabilístico intencional o dirigido, corresponde a un tramo de 620.54 m del río Achamayo, ubicado en el distrito de Quichuay, provincia de Huancayo de la región Junín.</p>

**ANEXO N° 02: PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS**

Tabla 42. Precipitación máxima en 24 horas - Estación Ingenio.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1964	13.2	19	25.8	7.6	12.9	1.2	1.5	4.5	10.3	24	20.9	18.2
1965	20.9	31.1	21	6	7.1	0.3	5.5	7.7	13.9	6	13.8	23.7
1966	15	14.1	8.3	4.2	10.8	0	0.5	4.6	9	11.4	14.7	24.7
1967	20	30.8	36.4	7.2	11.3	4.9	9.5	13.4	10.8	21.3	7.2	21
1968	27.8	13	20.4	10.7	0.01	6.9	0	0	0	0	0	28
1969	22.3	23.1	14.2	19.3	0	8.5	14.2	5.2	8.3	11.8	18.2	29.6
1970	34.4	22.6	23.6	26.2	7.2	20.5	4.3	0.01	16.3	17.4	31	22.8
1971	25.3	21.1	20.8	12.1	4.1	6.1	0.01	14	12.6	25.1	16.5	28.8
1972	18.8	11	19.1	38.3	15.7	0	4.5	4.4	9.4	15.8	11.7	15.6
1973	22.1	20.6	29.3	15.6	8.1	3.9	35.6	11.7	22.5	16.7	9.6	26.3
1974	36	27.7	15.7	24.1	0	8.5	1.9	7.9	1.9	24.9	35.7	33.9
1975	22.7	24.5	25.3	21.8	8.3	0	0	4.3	15.1	18.2	11.4	18.2
1976	27.6	28.9	12.1	10	3.9	3.9	1.1	2.9	5.1	9.1	8.2	9.9
1977	22.7	14.4	21	18	10.9	1.1	0	6.3	17.4	21.9	20.3	18.7
1978	30.3	22.9	14.7	5.7	13.2	2.6	3.1	0	17.3	7.1	17	10.7
1979	23.5	24.1	31.8	14.9	13.9	0	0	5.8	15.6	23.3	17.6	18.7
1980	16.2	22.3	0	17.3	0	0	2.4	2.3	9.2	23.3	19.6	13.8
1981	27.7	29.9	14	6.7	22.1	0	0	10.1	9.7	21.2	18.6	64.7
1982	27.1	31	17.9	20.1	0	5.1	6.2	7.8	13.2	18.2	18.4	25.9
1983	17.3	21	27.7	18.5	0	0	0	0	0	0	0	0
1984	32.1	30.9	19.8	7.4	18.8	18.1	0	1.7	18.7	15.7	33.1	0
1985	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1986	51.2	24.3	26	7.6	11	0	0.5	2	0	1.8	9.7	13.6
1987	11.7	18.4	6	0	2	1	0.3	0	0.2	0.4	26	2.3
1988	28.4	5.2	5.2	5.2	5.2	2	2.5	3	8	7	10	2.2
1989	14	4.6	4.5	5	8.7	3	0	0	0	0	0	0
1990	0	0	0	0	21.1	18.5	3	3.6	3.5	4.4	3.7	5
1991	3	2.2	2.1	1.3	1.5	0.2	0.2	0.2	1.1	2.5	0.3	0.7
1992	0.7	0.9	0.3	0.8	0.2	2.2	0.3	4.1	3	2	2.2	1.7
1993	4	5.5	0	21.2	10	0.4	0.2	0.6	2	10.4	17.6	9.7

1994	10.4	12.6	5.4	7	4.1	1.3	0.6	0.7	1.3	6.5	7.4	8.2
1995	6.9	12.6	3.6	28.4	1.1	0.5	0.3	0.5	4.2	6.4	5.3	5
1996	7.9	7.6	2.5	5.1	0	1.9	0.01	4.8	8	18.2	15	18.1
1997	33.3	26.1	14.7	15.7	7.8	8.4	0.1	1.5	14.7	15.6	14.2	54
1998	25.4	19.6	20.1	20.3	4.4	5.2	0	5.3	5.4	0	17.7	19.2
1999	16.5	24.3	17.2	21.2	9.1	6.7	5.1	0.5	12	10.6	23.1	17.4
2000	22.3	17.9	12	9.8	5.7	0	8.7	3.5	13.7	13.6	12.9	22
2001	33.3	28.8	28.9	28.6	5.5	0	4	0	7	10	13	15
2002	10	12	14	14	1	1	6	0	10	18.5	16	21.7
2003	21.3	11	37.1	17.2	6	0	0	16	15.6	2.9	18.4	24.3
2004	18.4	34.9	38.6	11.4	4.3	6.4	7.6	6.8	6.8	10.5	23.7	20.6
2005	15	9.7	15.2	8.7	2	0	0	13.9	6.9	20.3	17.2	16
2006	25.6	13	21	8.2	0	2.3	1.5	1.3	7.1	15.5	12.9	14.9
2007	11.5	36.3	18.5	13.6	4.6	0	3.8	0.01	7.3	17.8	17.4	14.7
2008	10	11.4	7.2	13.1	3	10.3	4.3	2.7	12.5	16.6	9.8	17
2009	13.8	11	23	29.7	5.9	3.9	0	3.2	12.2	22	20.2	36.3
2010	19.2	23.8	12.4	15.5	1.2	0	0	2.8	3.8	9.1	11.5	19
2011	29.6	30.6	23.8	8	3.9	0	4.1	0	12.1	17	17	16.8
2012	17.2	12.7	16.7	21.2	8.3	12	0	3.8	14.7	9	17.1	36.9
2013	19.7	10.9	15	16.4	27.9	3.5	0.9	17.2	10.3	18.6	23.2	23.8
Máximo	51.20	36.30	38.60	38.30	27.90	20.50	35.60	17.20	22.50	25.10	35.70	64.70

Fuente: SENAMHI (2017).

## **ANEXO N° 03: CÁLCULO DE EROSIÓN POR PROGRESIVAS**

Tabla 43. Consideraciones básicas para el cálculo de erosión.

Estación	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Cota de agua (m)	Elevación crítica (m)	Pendiente (m/m)	Velocidad media (m/s)	Área de la sección hidráulica (m <sup>2</sup> )	Ancho efectivo del cauce (m)	N° de Froude
600.00	15.20	11285.87	11285.87	0.00	1.73	11.36	41.85	1.09
580.00	15.20	11284.88	11285.07	0.01	3.85	5.19	13.46	2.11
560.00	15.20	11283.59	11283.75	0.02	3.48	4.89	24.70	2.50
540.00	15.20	11282.30	11282.40	0.03	2.70	5.68	53.27	2.52
520.00	15.20	11281.12	11281.17	0.01	1.94	8.28	64.87	1.74
500.00	15.20	11279.41	11279.55	0.04	3.41	5.33	32.81	3.11
480.00	15.20	11278.42	11278.47	0.01	2.13	8.96	43.98	1.66
460.00	15.20	11277.48	11277.34	0.00	1.22	15.41	47.32	0.87
440.00	15.20	11277.15	11277.15	0.01	0.93	13.44	97.70	1.28
420.00	15.20	11269.12	11269.12	0.00	1.84	9.25	28.83	0.99
400.00	15.20	11266.85	11267.16	0.39	2.25	2.66	12.62	6.43
380.00	15.20	11265.29	11265.55	0.01	4.02	3.78	8.42	1.91
360.00	15.20	11263.16	11263.48	0.05	5.70	2.67	11.63	3.80
340.00	15.20	11262.09	11262.25	0.02	3.21	4.74	23.66	2.29
320.00	15.20	11260.52	11260.57	0.04	3.23	7.41	28.30	0.00
300.00	15.20	11260.06	11260.06	0.00	1.95	7.79	20.59	1.01
280.00	15.20	11258.50	11258.83	0.02	4.93	3.08	8.54	2.62
260.00	15.20	11255.71	11256.00	0.13	6.11	3.36	14.02	5.40
240.00	15.20	11253.26	11253.44	0.03	3.63	4.19	21.87	2.65
220.00	15.20	11252.77	11252.82	0.01	1.82	8.46	50.57	1.42
200.00	15.20	11251.29	11251.46	0.03	3.49	4.36	25.07	2.67
180.00	15.20	11250.62	11250.77	0.01	3.20	4.74	9.54	1.45
160.00	15.20	11249.20	11249.39	0.12	4.79	3.85	23.41	4.92
140.00	15.20	11248.31	11248.31	0.01	1.97	9.93	38.02	1.40
120.00	15.20	11247.12	11247.25	0.04	3.78	6.24	28.77	2.96
100.00	15.20	11245.14	11245.29	0.02	3.64	5.20	13.66	2.44
80.00	15.20	11244.29	11243.99	0.00	1.91	10.40	13.68	0.80
60.00	15.20	11243.79	11243.79	0.02	1.95	5.86	8.61	0.00
40.00	15.20	11242.10	11242.24	0.02	3.10	4.90	26.33	2.30
20.00	15.20	11239.35	11239.71	0.03	5.28	2.88	8.76	2.94



Tabla 44. Erosión en la progresiva 0 + 020.

Progresiva	20	Cota de agua (m)	11239.35	m	
X (m)	Y (m)	Tirante <sub>1</sub>	Tirante	Profundidad de socavación (m)	Nueva cota (m)
0.00	11256.37	-17.02	0.00	0.00	11256.37
10.67	11256.53	-17.18	0.00	0.00	11256.53
25.31	11256.10	-16.75	0.00	0.00	11256.10
31.76	11255.76	-16.41	0.00	0.00	11255.76
33.82	11255.84	-16.49	0.00	0.00	11255.84
70.05	11241.17	-1.82	0.00	0.00	11241.17
75.38	11239.01	0.34	0.34	0.74	11238.27
75.66	11238.83	0.52	0.52	1.28	11237.55
76.02	11238.68	0.67	0.67	1.79	11236.89
77.16	11238.80	0.55	0.55	1.38	11237.42
82.02	11239.24	0.11	0.11	0.17	11239.07
110.07	11241.78	-2.43	0.00	0.00	11241.78
128.53	11243.45	-4.10	0.00	0.00	11243.45
134.42	11246.85	-7.50	0.00	0.00	11246.85
154.10	11251.56	-12.21	0.00	0.00	11251.56
154.583	11251.58	-12.23	0.00	0.00	11251.58
156.4441	11251.25	-11.90	0.00	0.00	11251.25
157.566	11250.88	-11.53	0.00	0.00	11250.88
160.0429	11251.94	-12.59	0.00	0.00	11251.94
164.0421	11252.04	-12.69	0.00	0.00	11252.04

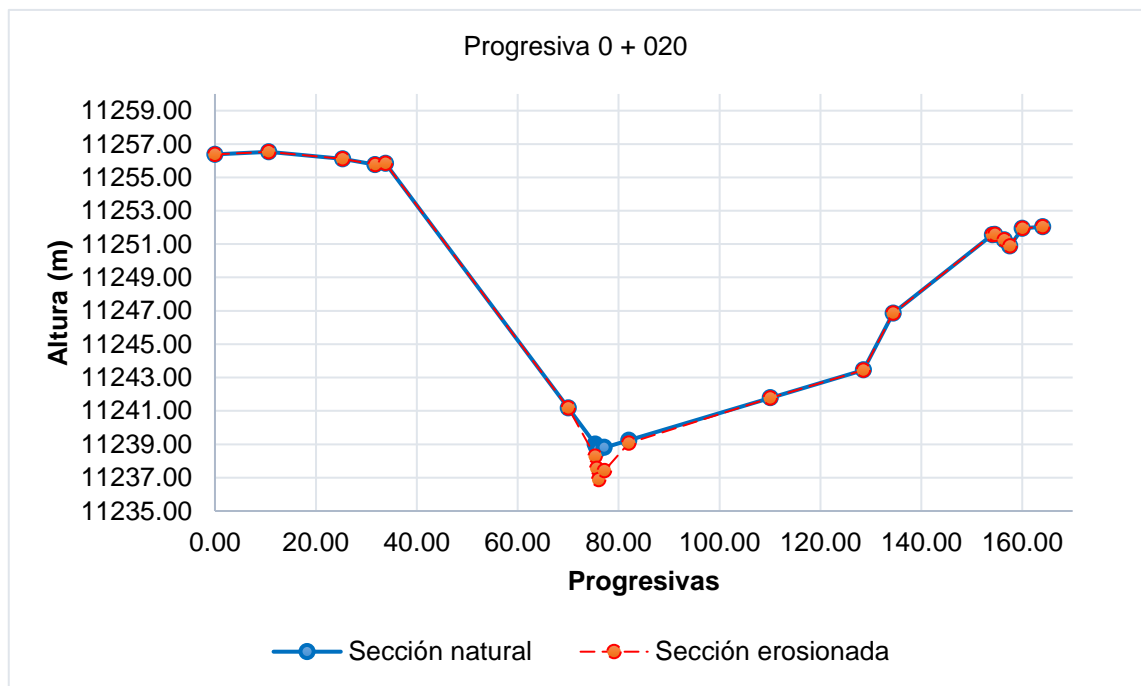


Figura 13. Erosión en la progresiva 0 + 020.

Tabla 45. Área de erosión en la progresiva 0 + 020.

Vértice	X (m)	Y (m)
1	70.05	11241.17
2	75.38	11239.01
3	75.66	11238.83
4	76.02	11238.68
5	77.16	11238.80
6	82.02	11239.24
7	110.07	11241.78
8	110.07	11241.78
9	82.02	11239.07
10	77.16	11237.42
11	76.02	11236.89
12	75.66	11237.55
13	75.38	11238.27
14	70.05	11241.17
1	70.05	11241.17
Sumatoria	12730878.37	12730899.82
Área (m <sup>2</sup> )		10.72

Tabla 46. Erosión en la progresiva 0 + 040.

Progresiva	40	Cota de agua (m)	11242.1	m	
X (m)	Y (m)	Tirante <sub>1</sub>	Tirante	Profundidad de socavación (m)	Nueva cota (m)
0.00	11257.27	-15.17	0.00	0.00	11257.27
6.29	11256.90	-14.80	0.00	0.00	11256.90
21.14	11254.17	-12.07	0.00	0.00	11254.17
21.44	11254.11	-12.01	0.00	0.00	11254.11
22.89	11254.11	-12.01	0.00	0.00	11254.11
39.32	11254.54	-12.44	0.00	0.00	11254.54
41.27	11254.55	-12.45	0.00	0.00	11254.55
45.85	11254.75	-12.65	0.00	0.00	11254.75
50.37	11252.17	-10.07	0.00	0.00	11252.17
65.78	11243.19	-1.09	0.00	0.00	11243.19
68.01	11241.89	0.21	0.21	0.35	11241.54
82.02	11241.89	0.21	0.21	0.35	11241.54
88.27	11241.88	0.22	0.22	0.37	11241.51
112.21	11242.78	-0.68	0.00	0.00	11242.78
130.14	11243.45	-1.35	0.00	0.00	11243.45
137.06	11248.47	-6.37	0.00	0.00	11248.47
142.651	11251.09	-8.99	0.00	0.00	11251.09
149.826	11250.88	-8.78	0.00	0.00	11250.88
155.5221	11250.82	-8.72	0.00	0.00	11250.82
160.3409	11250.22	-8.12	0.00	0.00	11250.22
164.0421	11249.86	-7.76	0.00	0.00	11249.86

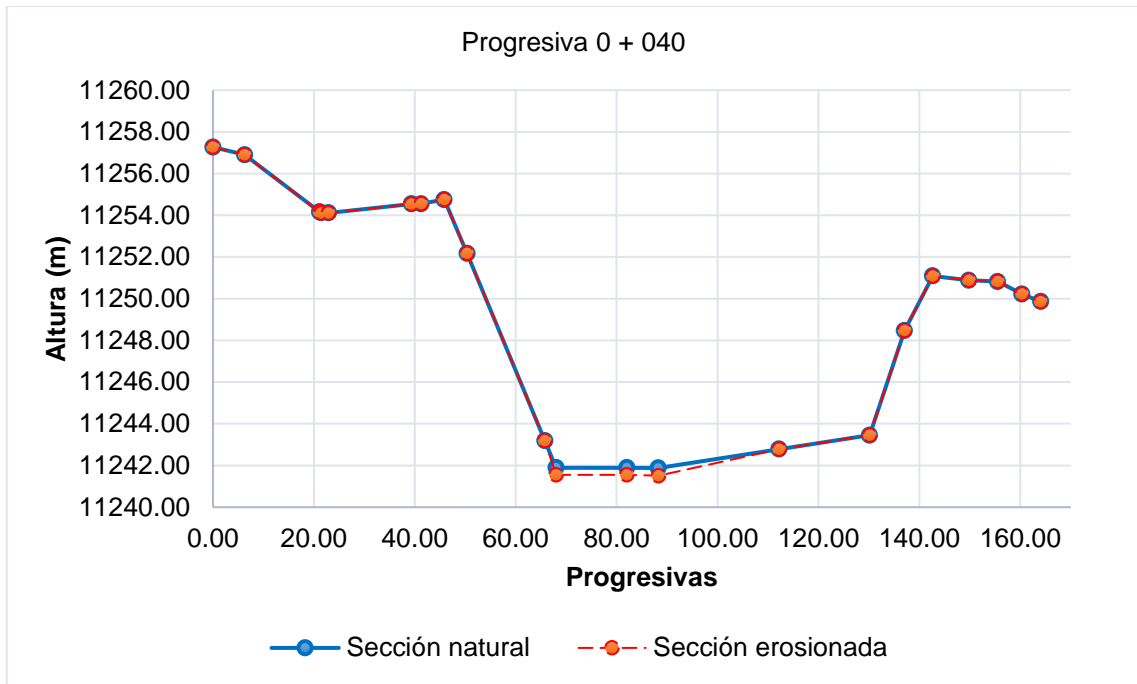


Figura 14. Erosión en la progresiva 0 + 040.  
 Tabla 47. Área de erosión en la progresiva 0 + 040.

Vértice	X (m)	Y (m)
1	65.78	11243.19
2	68.01	11241.89
3	82.02	11241.89
4	88.27	11241.88
5	112.21	11242.78
6	112.21	11242.78
7	88.27	11241.51
8	82.02	11241.54
9	68.01	11241.54
10	65.78	11243.19
1	65.78	11243.19
Sumatoria	9359939.74	9359963.49
Área (m <sup>2</sup> )		11.87

Tabla 48. Erosión en la progresiva 0 + 060.

Progresiva	60	Cota de agua (m)	11244.78	m	
X (m)	Y (m)	Tirante <sub>1</sub>	Tirante	Profundidad de socavación (m)	Nueva cota (m)
0.00	11255.47	-10.69	0.00	0.00	11255.47
18.33	11254.40	-9.62	0.00	0.00	11254.40
19.75	11254.46	-9.68	0.00	0.00	11254.46
22.09	11254.48	-9.70	0.00	0.00	11254.48
38.67	11254.09	-9.31	0.00	0.00	11254.09
55.48	11247.76	-2.98	0.00	0.00	11247.76
61.68	11245.23	-0.45	0.00	0.00	11245.23

65.01	11243.87	0.91	0.91	0.72	11243.15
82.02	11244.09	0.69	0.69	0.50	11243.59
86.64	11244.15	0.63	0.63	0.44	11243.71
112.86	11243.98	0.80	0.80	0.61	11243.37
129.97	11243.86	0.92	0.92	0.73	11243.13
137.01	11248.95	-4.17	0.00	0.00	11248.95
139.25	11249.11	-4.33	0.00	0.00	11249.11
154.0292	11244.65	0.13	0.13	0.06	11244.59
157.1521	11244.36	0.42	0.42	0.26	11244.10
163.72	11244.47	0.31	0.31	0.17	11244.30
164.0421	11246.31	-1.53	0.00	0.00	11246.31

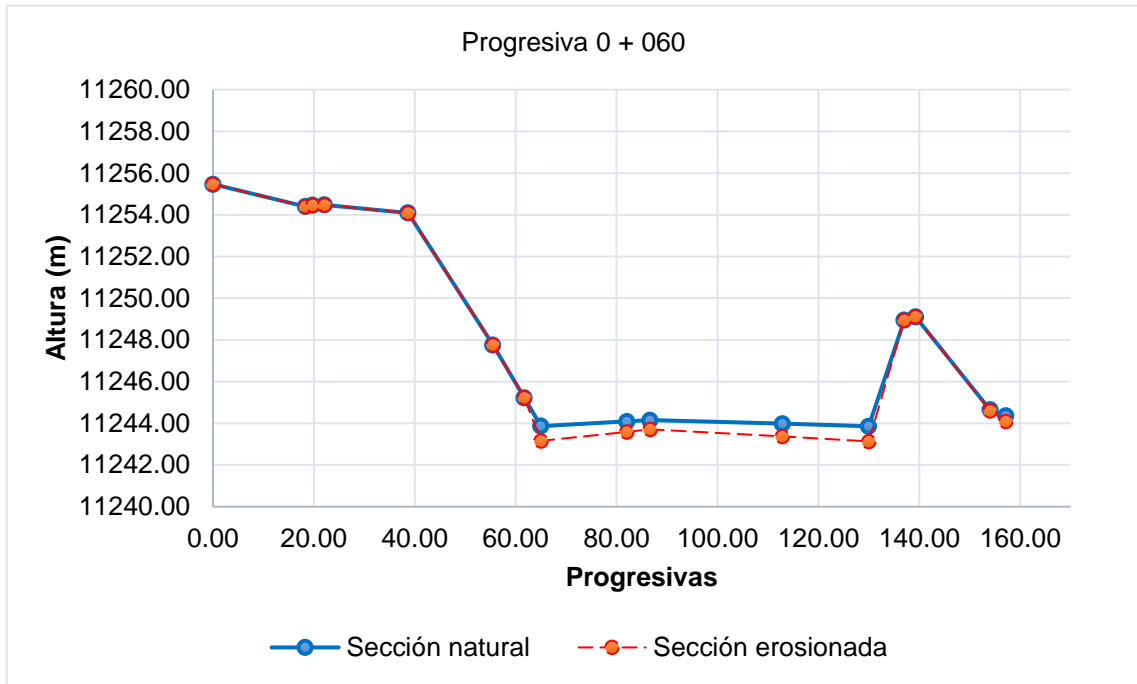


Figura 15. Erosión en la progresiva 0 + 060.  
 Tabla 49. Área de erosión en la progresiva 0 + 060.

Vértice	X (m)	Y (m)
1	61.68	11245.23
2	65.01	11243.87
3	82.02	11244.09
4	86.64	11244.15
5	112.86	11243.98
6	129.97	11243.86
7	137.01	11248.95
8	137.01	11248.95
9	129.97	11243.13
10	112.86	11243.37
11	86.64	11243.71
12	82.02	11243.59
13	65.01	11243.15
14	61.68	11245.23
1	61.68	11245.23
Sumatoria	15184806.55	15184889.47
Área (m <sup>2</sup> )		41.46

Tabla 50. Erosión en la progresiva 0 + 080.

Progresiva	80	Cota de agua (m)	11244.29	m	
X (m)	Y (m)	Tirante <sub>1</sub>	Tirante	Profundidad de socavación (m)	Nueva cota (m)
0.00	11253.68	-9.39	0.00	0.00	11253.68
0.44	11253.65	-9.36	0.00	0.00	11253.65
8.64	11254.00	-9.71	0.00	0.00	11254.00
12.78	11253.84	-9.55	0.00	0.00	11253.84
45.41	11254.82	-10.53	0.00	0.00	11254.82
47.74	11254.83	-10.54	0.00	0.00	11254.83
51.80	11252.40	-8.11	0.00	0.00	11252.40
62.34	11245.26	-0.97	0.00	0.00	11245.26
65.48	11243.13	1.16	1.16	1.22	11241.91
77.90	11244.91	-0.62	0.00	0.00	11244.91
82.02	11245.61	-1.32	0.00	0.00	11245.61
110.89	11250.47	-6.18	0.00	0.00	11250.47
139.08	11255.21	-10.92	0.00	0.00	11255.21
141.39	11254.94	-10.65	0.00	0.00	11254.94
142.04	11254.94	-10.65	0.00	0.00	11254.94
145.492	11254.44	-10.15	0.00	0.00	11254.44
146.1611	11252.3	-8.01	0.00	0.00	11252.30
156.0561	11242.62	1.67	0.00	0.00	11242.62
157.8151	11242.64	1.65	0.00	0.00	11242.64
158.6091	11245.91	-1.62	0.00	0.00	11245.91
162.6669	11245.01	-0.72	0.00	0.00	11245.01
164.0421	11250.16	-5.87	0.00	0.00	11250.16

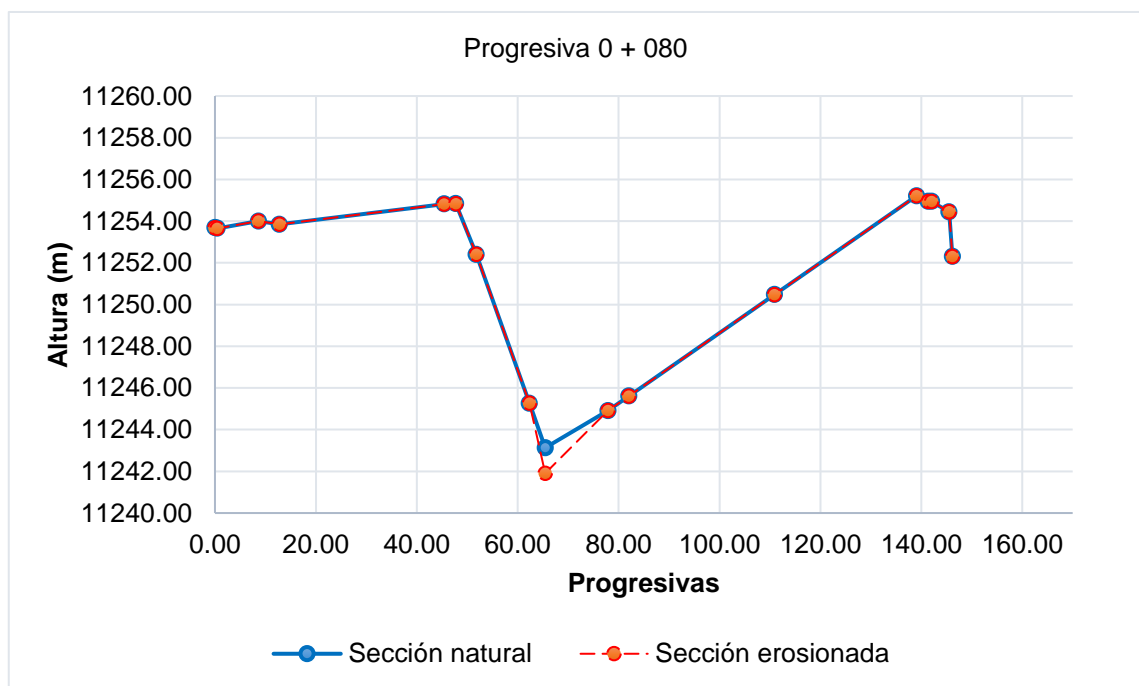


Figura 16. Erosión en la progresiva 0 + 080.

Tabla 51. Área de erosión en la progresiva 0 + 080.

Vértice	X (m)	Y (m)
1	62.34	11245.26
2	65.48	11243.13
3	77.90	11244.91
4	77.90	11244.91
5	65.48	11241.91
6	62.34	11245.26
1	62.34	11245.26
Sumatoria	4626188.52	4626207.58
Área (m <sup>2</sup> )		9.53

Tabla 52. Erosión en la progresiva 0 + 100.

Progresiva	100	Cota de agua (m)	11245.14	m	Profundidad de socavación (m)	Nueva cota (m)
X (m)	Y (m)	Tirante <sub>1</sub>	Tirante			
0.00	11252.60	-7.46	0.00	0.00	0.00	11252.60
16.35	11252.50	-7.36	0.00	0.00	0.00	11252.50
20.30	11252.43	-7.29	0.00	0.00	0.00	11252.43
39.47	11253.82	-8.68	0.00	0.00	0.00	11253.82
48.20	11254.08	-8.94	0.00	0.00	0.00	11254.08
63.36	11245.90	-0.76	0.00	0.00	0.00	11245.90
64.47	11245.31	-0.17	0.00	0.00	0.00	11245.31
65.35	11244.84	0.30	0.30	0.48	0.48	11244.36
75.57	11244.93	0.21	0.21	0.30	0.30	11244.63
82.02	11245.79	-0.65	0.00	0.00	0.00	11245.79
109.09	11249.41	-4.27	0.00	0.00	0.00	11249.41
132.81	11252.57	-7.43	0.00	0.00	0.00	11252.57
135.11	11252.50	-7.36	0.00	0.00	0.00	11252.50
146.53	11250.62	-5.48	0.00	0.00	0.00	11250.62
160.96	11250.63	-5.49	0.00	0.00	0.00	11250.63

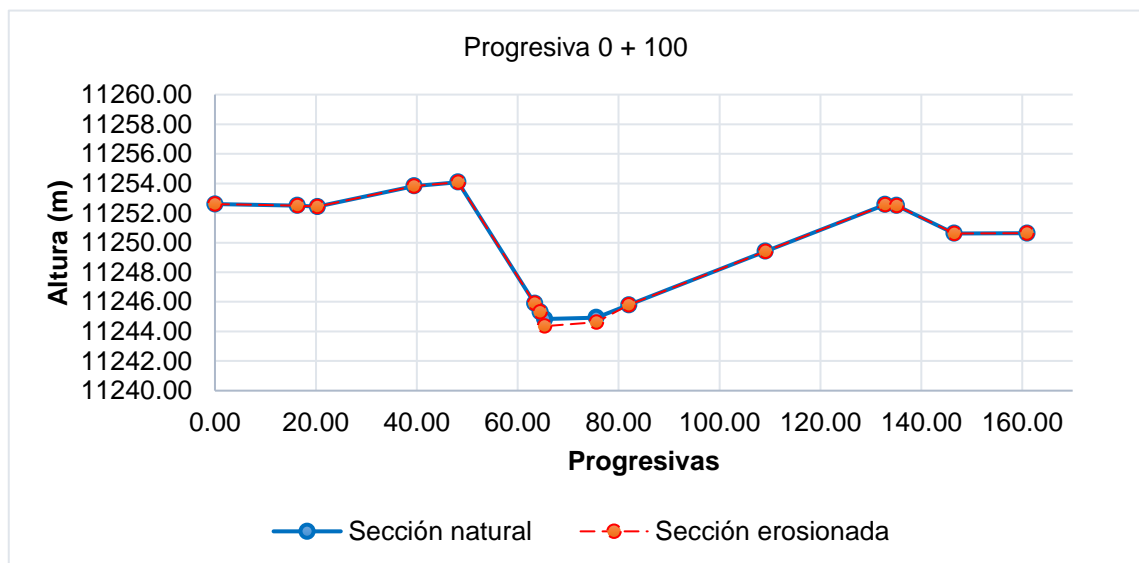


Figura 17. Erosión en la progresiva 0 + 100.

Tabla 53. Área de erosión en la progresiva 0 + 100.

Vértice	X (m)	Y (m)
1	64.47	11245.31
2	65.35	11244.84
3	75.57	11244.93
4	82.02	11245.79
5	82.02	11245.79
6	75.57	11244.63
7	65.35	11244.36
8	64.47	11245.31
1	64.47	11245.31
Sumatoria	6464031.73	6464042.15
Área (m <sup>2</sup> )		5.21

Tabla 54. Erosión en la progresiva 0 + 120.

Progresiva	120	Cota de agua (m)	11247.12	m	Profundidad de socavación (m)	Nueva cota (m)
X (m)	Y (m)	Tirante <sub>1</sub>	Tirante			
0.00	11253.20	-6.08	0.00	0.00	0.00	11253.20
3.00	11253.18	-6.06	0.00	0.00	0.00	11253.18
14.95	11252.94	-5.82	0.00	0.00	0.00	11252.94
44.26	11253.75	-6.63	0.00	0.00	0.00	11253.75
50.04	11253.66	-6.54	0.00	0.00	0.00	11253.66
60.37	11248.12	-1.00	0.00	0.00	0.00	11248.12
60.86	11248.10	-0.98	0.00	0.00	0.00	11248.10
82.02	11247.46	-0.34	0.00	0.00	0.00	11247.46
104.44	11246.79	0.33	0.33	0.85	0.85	11245.94
104.66	11246.79	0.33	0.33	0.85	0.85	11245.94
120.84	11246.92	0.20	0.20	0.44	0.44	11246.48
127.66	11248.28	-1.16	0.00	0.00	0.00	11248.28
141.52	11254.52	-7.40	0.00	0.00	0.00	11254.52
164.0421	11246.95	0.17	0.00	0.00	0.00	11246.95

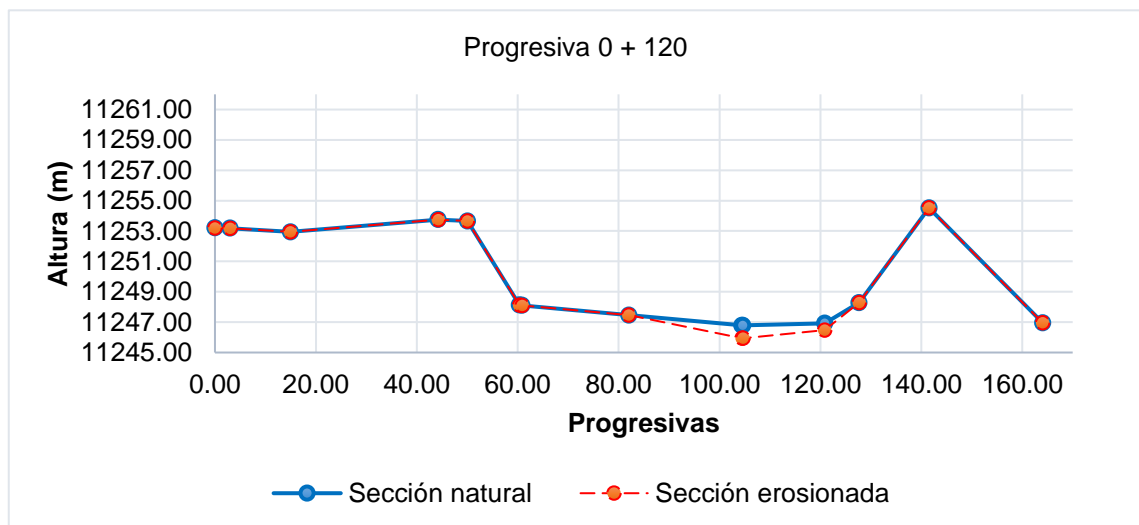


Figura 18. Erosión en la progresiva 0 + 120.

Tabla 55. Área de erosión en la progresiva 0 + 120.

Vértice	X (m)	Y (m)
1	82.02	11247.46
2	104.44	11246.79
3	104.66	11246.79
4	120.84	11246.92
5	127.66	11248.28
6	127.66	11248.28
7	120.84	11246.48
8	104.66	11245.94
9	104.44	11245.94
10	82.02	11247.46
1	82.02	11247.46
Sumatoria	12138402.16	12138445.55
Área (m <sup>2</sup> )		21.70

Tabla 56. Erosión en la progresiva 0 + 140.

Progresiva	140	Cota de agua (m)	11248.31	m	
X (m)	Y (m)	Tirante <sub>1</sub>	Tirante	Profundidad de socavación (m)	Nueva cota (m)
0.00	11255.73	-7.42	0.00	0.00	11255.73
9.81	11255.69	-7.38	0.00	0.00	11255.69
28.41	11253.21	-4.90	0.00	0.00	11253.21
47.35	11253.61	-5.30	0.00	0.00	11253.61
53.81	11252.21	-3.90	0.00	0.00	11252.21
72.15	11248.22	0.09	0.09	0.08	11248.14
82.02	11248.12	0.19	0.19	0.20	11247.92
96.29	11247.99	0.32	0.32	0.40	11247.59
108.84	11247.87	0.44	0.44	0.61	11247.26
119.03	11252.68	-4.37	0.00	0.00	11252.68
148.52	11256.57	-8.26	0.00	0.00	11256.57
163.15	11256.92	-8.61	0.00	0.00	11256.92
164.04	11256.85	-8.54	0.00	0.00	11256.85



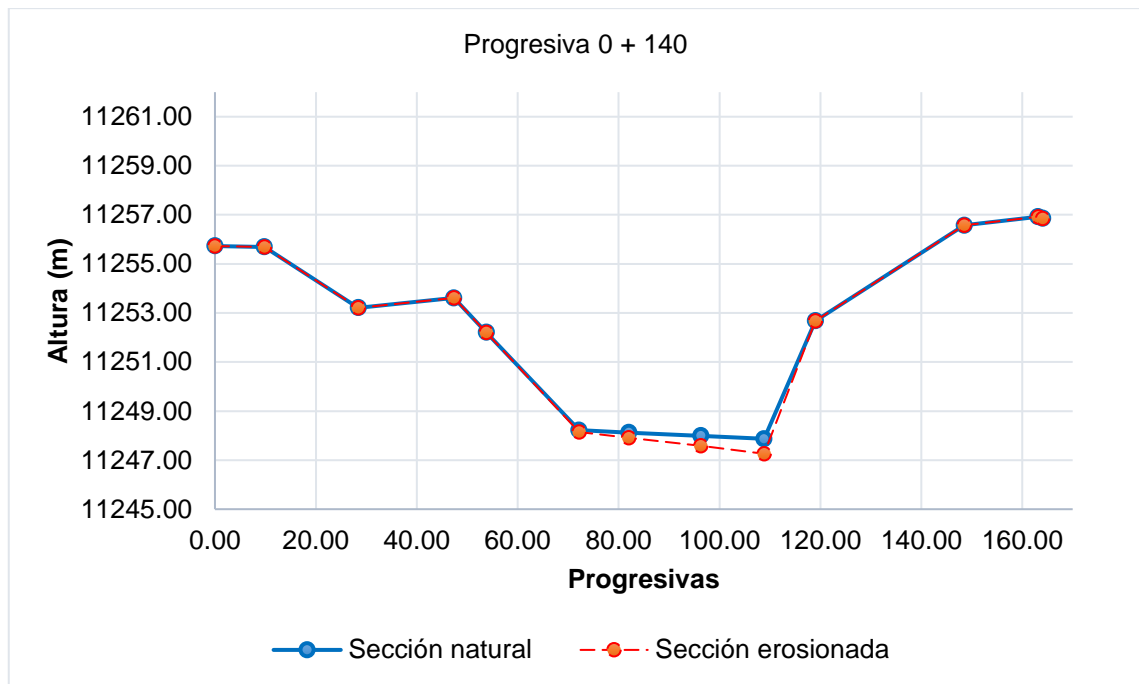


Figura 19. Erosión en la progresiva 0 + 140.  
 Tabla 57. Área de erosión en la progresiva 0 + 140.

Vértice	X (m)	Y (m)
1	53.81	11252.21
2	72.15	11248.22
3	82.02	11248.12
4	96.29	11247.99
5	108.84	11247.87
6	119.03	11252.68
7	119.03	11252.68
8	108.84	11247.26
9	96.29	11247.59
10	82.02	11247.92
11	72.15	11248.14
12	53.81	11252.21
1	53.81	11252.21
Sumatoria	11972561.22	11972592.96
Área (m <sup>2</sup> )		15.87

Tabla 58. Erosión en la progresiva 0 + 160.

Progresiva	160	Cota de agua (m)		m	
X (m)	Y (m)	Tirante <sub>1</sub>	Tirante	Profundidad de socavación (m)	Nueva cota (m)
0.00	11255.44	-6.24	0.00	0.00	11255.44
0.53	11255.44	-6.24	0.00	0.00	11255.44
7.18	11255.40	-6.20	0.00	0.00	11255.40
26.15	11252.72	-3.52	0.00	0.00	11252.72
54.33	11253.90	-4.70	0.00	0.00	11253.90

58.07	11251.60	-2.40	0.00	0.00	11251.60
61.63	11249.41	-0.21	0.00	0.00	11249.41
82.02	11249.25	-0.05	0.00	0.00	11249.25
92.41	11249.17	0.03	0.03	0.04	11249.13
102.36	11248.98	0.22	0.22	0.61	11248.37
109.24	11248.84	0.36	0.36	1.17	11247.67
115.72	11249.71	-0.51	0.00	0.00	11249.71
126.19	11252.79	-3.59	0.00	0.00	11252.79
133.38	11258.21	-9.01	0.00	0.00	11258.21
145.33	11258.99	-9.79	0.00	0.00	11258.99
164.04	11259.59	-10.39	0.00	0.00	11259.59

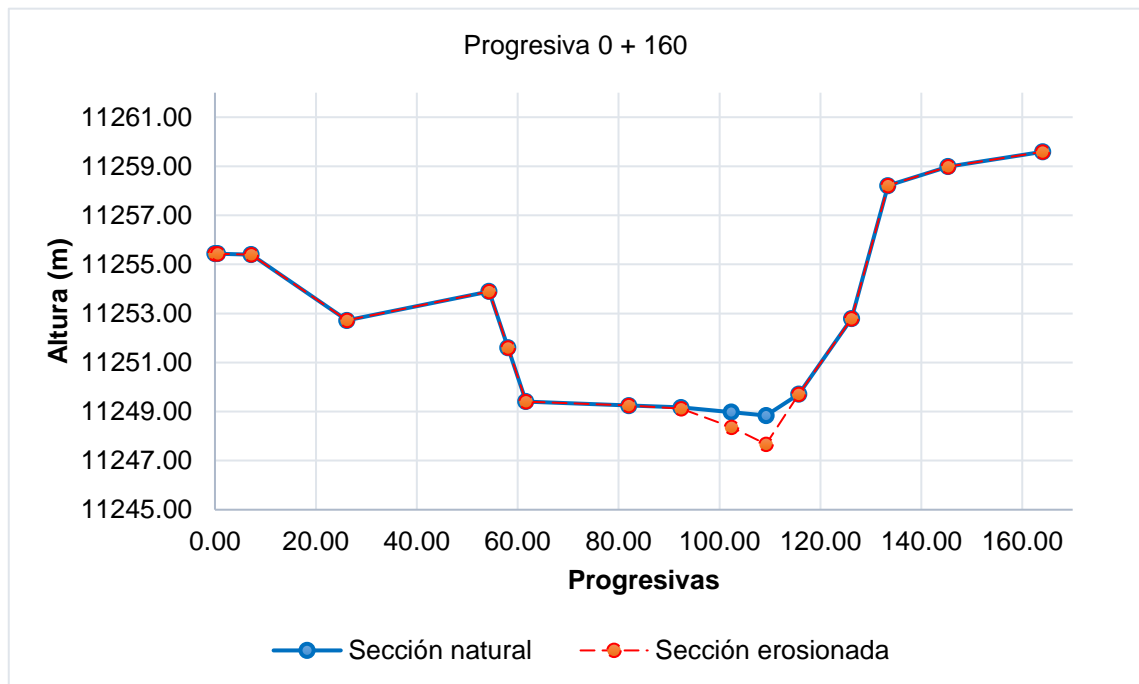


Figura 20. Erosión en la progresiva 0 + 160.  
 Tabla 59. Área de erosión en la progresiva 0 + 160.

Vértice	X (m)	Y (m)
1	82.02	11249.25
2	92.41	11249.17
3	102.36	11248.98
4	109.24	11248.84
5	115.72	11249.71
6	115.72	11249.71
7	109.24	11247.67
8	102.36	11248.37
9	92.41	11249.13
10	82.02	11249.25
1	82.02	11249.25
Sumatoria	11288275.02	11288301.85
Área (m <sup>2</sup> )		13.41

Tabla 60. Erosión en la progresiva 0 + 180.

Progresiva	180	Cota de agua (m)	11250.62	m	Profundidad de socavación (m)	Nueva cota (m)
X (m)	Y (m)	Tirante <sub>1</sub>	Tirante			
0.00	11257.07	-6.45	0.00		0.00	11257.07
8.41	11257.14	-6.52	0.00		0.00	11257.14
18.79	11257.85	-7.23	0.00		0.00	11257.85
50.29	11259.26	-8.64	0.00		0.00	11259.26
56.80	11255.25	-4.63	0.00		0.00	11255.25
59.06	11255.06	-4.44	0.00		0.00	11255.06
82.02	11253.11	-2.49	0.00		0.00	11253.11
92.75	11252.19	-1.57	0.00		0.00	11252.19
101.49	11249.63	0.99	0.99		1.62	11248.01
108.60	11250.77	-0.15	0.00		0.00	11250.77
110.68	11251.11	-0.49	0.00		0.00	11251.11
119.97	11251.44	-0.82	0.00		0.00	11251.44
123.03	11251.85	-1.23	0.00		0.00	11251.85
144.01	11258.49	-7.87	0.00		0.00	11258.49
160.61	11259.31	-8.69	0.00		0.00	11259.31
164.04	11259.48	-8.86	0.00		0.00	11259.48

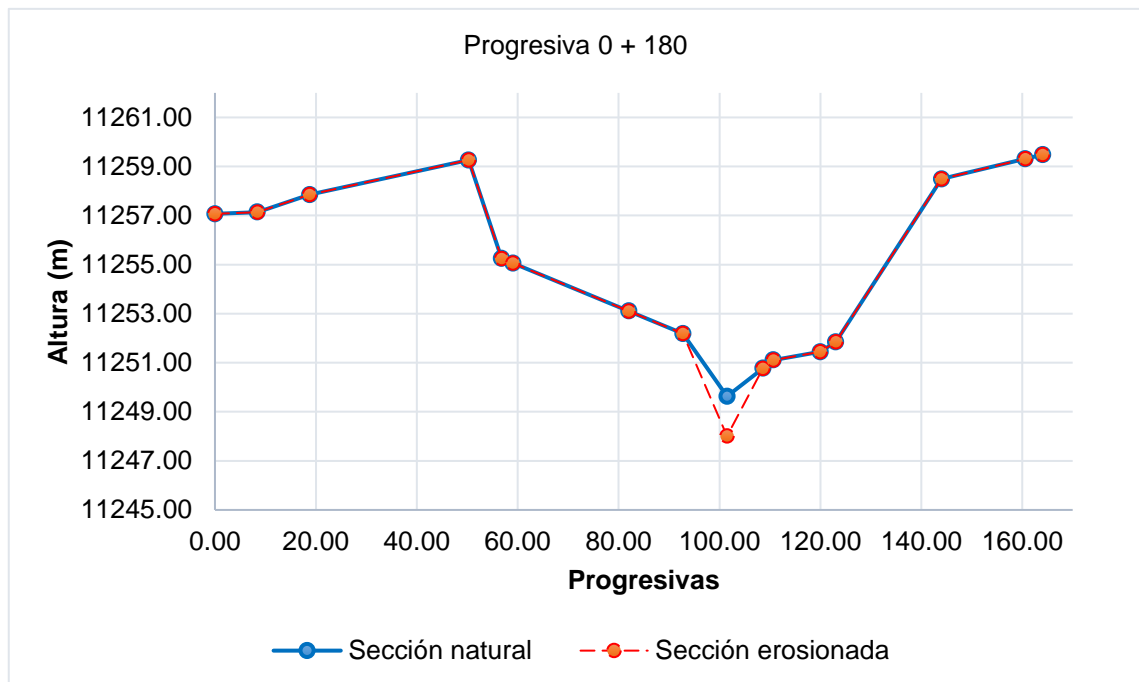


Figura 21. Erosión en la progresiva 0 + 180.

Tabla 61. Área de erosión en la progresiva 0 + 180.

Vértice	X (m)	Y (m)
1	92.75	11252.19
2	101.49	11249.63
3	108.60	11250.77
4	108.60	11250.77
5	101.49	11248.01
6	92.75	11252.19
1	92.75	11252.19
Sumatoria	6814214.15	6814239.83
Área (m <sup>2</sup> )		12.84

Tabla 62. Erosión en la progresiva 0 + 200.

Progresiva	200	Cota de agua (m)	11251.29	m	
X (m)	Y (m)	Tirante <sub>1</sub>	Tirante	Profundidad de socavación (m)	Nueva cota (m)
0.00	11259.18	-7.89	0.00	0.00	11259.18
14.31	11258.32	-7.03	0.00	0.00	11258.32
36.25	11259.71	-8.42	0.00	0.00	11259.71
54.57	11253.72	-2.43	0.00	0.00	11253.72
59.87	11252.88	-1.59	0.00	0.00	11252.88
71.39	11251.06	0.23	0.23	0.44	11250.62
82.02	11251.11	0.18	0.18	0.32	11250.79
93.77	11251.17	0.12	0.12	0.19	11250.98
100.23	11251.88	-0.59	0.00	0.00	11251.88
112.37	11252.32	-1.03	0.00	0.00	11252.32
119.98	11252.60	-1.31	0.00	0.00	11252.60
142.60	11255.61	-4.32	0.00	0.00	11255.61
147.70	11257.23	-5.94	0.00	0.00	11257.23
151.74	11257.43	-6.14	0.00	0.00	11257.43
164.0421	11258.03	-6.74	0.00	0.00	11258.03

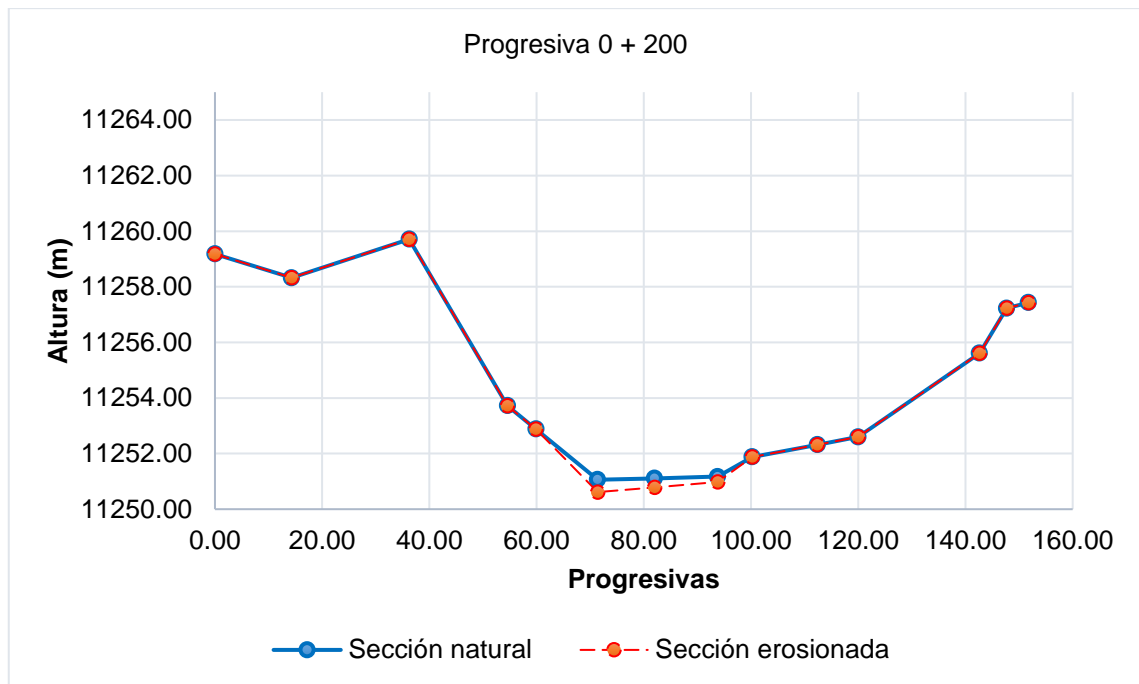


Figura 22. Erosión en la progresiva 0 + 200.  
 Tabla 63. Área de erosión en la progresiva 0 + 200.

Vértice	X (m)	Y (m)
1	59.87	11252.88
2	71.39	11251.06
3	82.02	11251.11
4	93.77	11251.17
5	100.23	11251.88
6	100.23	11251.88
7	93.77	11250.98
8	82.02	11250.79
9	71.39	11250.62
10	59.87	11252.88
1	59.87	11252.88
Sumatoria	9165159.40	9165179.89
Área (m <sup>2</sup> )		10.24

Tabla 64. Erosión en la progresiva 0 + 220.

Progresiva	220	Cota de agua (m)	11252.77	m	
X (m)	Y (m)	Tirante <sub>1</sub>	Tirante	Profundidad de socavación (m)	Nueva cota (m)
0.00	11259.53	-6.76	0.00	0.00	11259.53
21.17	11259.77	-7.00	0.00	0.00	11259.77
58.06	11253.71	-0.94	0.00	0.00	11253.71
60.70	11253.30	-0.53	0.00	0.00	11253.30
65.17	11252.59	0.18	0.18	0.20	11252.39

68.30	11252.60	0.17	0.17	0.18	11252.42
82.02	11252.60	0.17	0.17	0.18	11252.42
113.52	11252.61	0.16	0.16	0.17	11252.44
114.27	11252.61	0.16	0.16	0.17	11252.44
117.49	11254.36	-1.59	0.00	0.00	11254.36
129.04	11254.80	-2.03	0.00	0.00	11254.80
150.36	11257.92	-5.15	0.00	0.00	11257.92
150.67	11258.05	-5.28	0.00	0.00	11258.05
164.04	11262.55	-9.78	0.00	0.00	11262.55

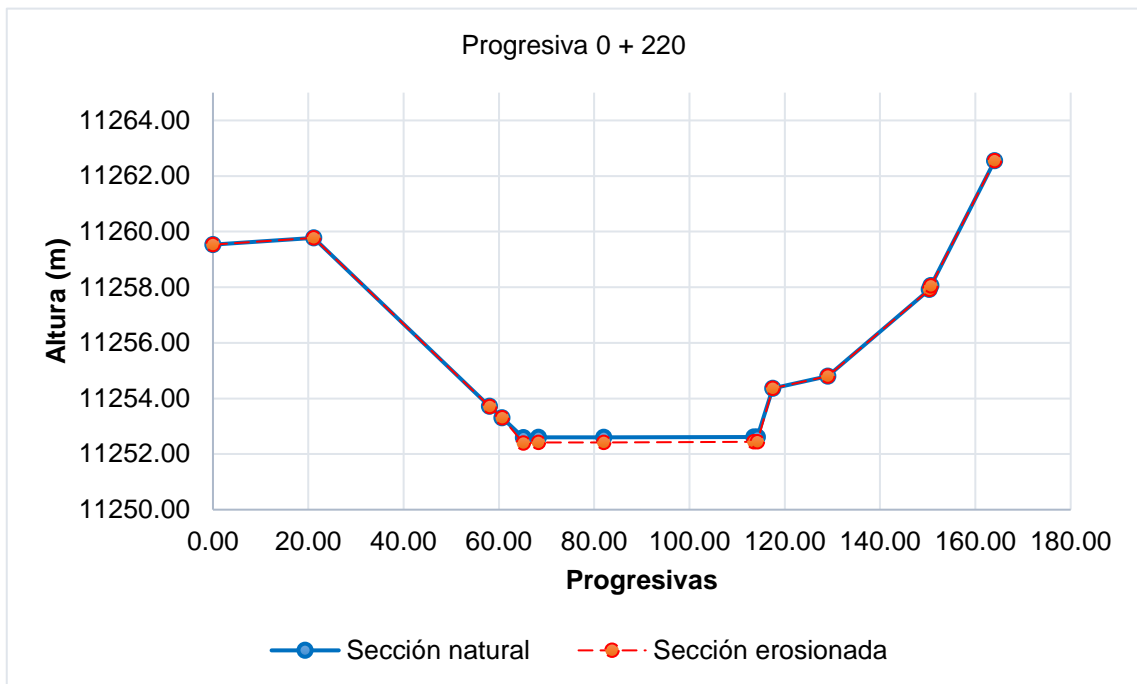


Figura 23. Erosión en la progresiva 0 + 220.  
 Tabla 65. Área de erosión en la progresiva 0 + 220.

Vértice	X (m)	Y (m)
1	60.70	11253.30
2	65.17	11252.59
3	68.30	11252.60
4	82.02	11252.60
5	113.52	11252.61
6	113.52	11252.44
7	82.02	11252.42
8	68.30	11252.42
9	65.17	11252.39
10	60.70	11253.30
1	60.70	11253.30
Sumatoria	8770341.51	8770359.76
Área (m <sup>2</sup> )		9.13

Tabla 66. Erosión en la progresiva 0 + 240.

Progresiva	240	Cota de agua (m)	11253.26	m	
X (m)	Y (m)	Tirante <sub>1</sub>	Tirante	Profundidad de socavación (m)	Nueva cota (m)
0.00	11260.07	-6.81	0.00	0.00	11260.07
14.92	11260.07	-6.81	0.00	0.00	11260.07
21.33	11260.06	-6.80	0.00	0.00	11260.06
44.34	11256.48	-3.22	0.00	0.00	11256.48
63.63	11253.69	-0.43	0.00	0.00	11253.69
68.03	11253.06	0.20	0.20	0.36	11252.70
82.02	11253.02	0.24	0.24	0.46	11252.56
83.39	11253.01	0.25	0.25	0.49	11252.52
115.63	11254.55	-1.29	0.00	0.00	11254.55
129.71	11255.23	-1.97	0.00	0.00	11255.23
153.55	11258.47	-5.21	0.00	0.00	11258.47
158.18	11260.23	-6.97	0.00	0.00	11260.23
170.68	11264.20	-10.94	0.00	0.00	11264.20
171.48	11264.25	-10.99	0.00	0.00	11264.25
173.67	11263.90	-10.64	0.00	0.00	11263.90
176.48	11263.69	-10.43	0.00	0.00	11263.69
187.7099	11263.9	-10.64	0.00	0.00	11263.90

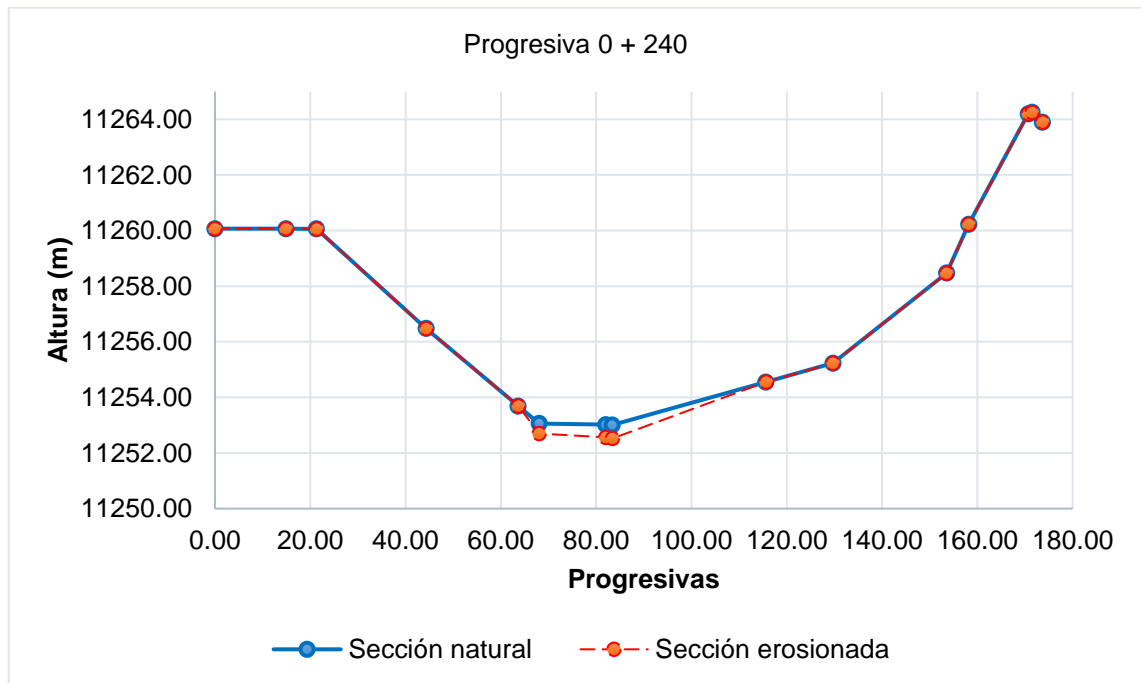


Figura 24. Erosión en la progresiva 0 + 240.

Tabla 67. Área de erosión en la progresiva 0 + 240.

Vértice	X (m)	Y (m)
1	63.63	11253.69
2	68.03	11253.06
3	82.02	11253.02
4	83.39	11253.01
5	115.63	11254.55
6	115.63	11254.55
7	83.39	11252.52
8	82.02	11252.56
9	68.03	11252.70
10	63.63	11253.69
1	63.63	11253.69
Sumatoria	9288442.98	9288473.03
Área (m <sup>2</sup> )		15.03

Tabla 68. Erosión en la progresiva 0 + 260.

Progresiva	260	Cota de agua (m)	11255.71	m	
X (m)	Y (m)	Tirante <sub>1</sub>	Tirante	Profundidad de socavación (m)	Nueva cota (m)
0.00	11261.02	-5.31	0.00	0.00	11261.02
14.02	11260.75	-5.04	0.00	0.00	11260.75
21.24	11259.30	-3.59	0.00	0.00	11259.30
53.92	11255.23	0.48	0.48	1.79	11253.44
58.56	11255.45	0.26	0.26	0.80	11254.65
82.02	11256.55	-0.84	0.00	0.00	11256.55
108.43	11257.79	-2.08	0.00	0.00	11257.79
111.51	11257.94	-2.23	0.00	0.00	11257.94
130.26	11258.85	-3.14	0.00	0.00	11258.85
135.26	11259.53	-3.82	0.00	0.00	11259.53
148.18	11264.43	-8.72	0.00	0.00	11264.43
151.20	11265.39	-9.68	0.00	0.00	11265.39
153.65	11265.56	-9.85	0.00	0.00	11265.56
154.20	11265.48	-9.77	0.00	0.00	11265.48
162.99	11264.85	-9.14	0.00	0.00	11264.85
164.04	11264.87	-9.16	0.00	0.00	11264.87



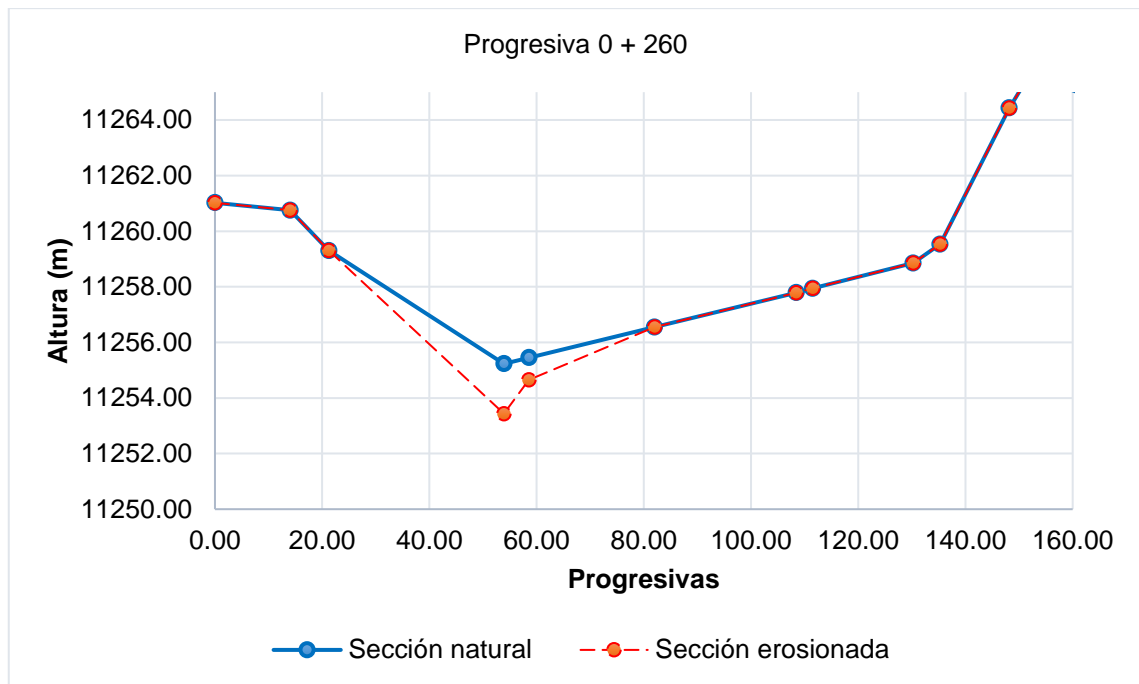


Figura 25. Erosión en la progresiva 0 + 260.  
 Tabla 69. Área de erosión en la progresiva 0 + 260.

Vértice	X (m)	Y (m)
1	21.24	11259.30
2	53.92	11255.23
3	58.56	11255.45
4	82.02	11256.55
5	82.02	11256.55
6	58.56	11254.65
7	53.92	11253.44
8	21.24	11259.30
1	21.24	11259.30
Sumatoria	4856874.32	4856963.76
Área (m <sup>2</sup> )		44.72

Tabla 70. Erosión en la progresiva 0 + 280.

Progresiva	280	Cota de agua (m)	11258.5	m	
X (m)	Y (m)	Tirante <sub>1</sub>	Tirante	Profundidad de socavación (m)	Nueva cota (m)
0.00	11267.45	-8.95	0.00	0.00	11267.45
5.00	11267.39	-8.89	0.00	0.00	11267.39
11.66	11266.88	-8.38	0.00	0.00	11266.88
15.04	11264.35	-5.85	0.00	0.00	11264.35
35.98	11264.37	-5.87	0.00	0.00	11264.37
56.59	11262.18	-3.68	0.00	0.00	11262.18
82.02	11259.49	-0.99	0.00	0.00	11259.49

98.11	11257.78	0.72	0.72	1.78	11256.00
103.41	11259.98	-1.48	0.00	0.00	11259.98
104.17	11260.19	-1.69	0.00	0.00	11260.19
129.85	11267.53	-9.03	0.00	0.00	11267.53
131.21	11267.45	-8.95	0.00	0.00	11267.45
134.08	11267.04	-8.54	0.00	0.00	11267.04
134.86	11267.07	-8.57	0.00	0.00	11267.07
160.97	11267.39	-8.89	0.00	0.00	11267.39
164.04	11267.45	-8.95	0.00	0.00	11267.45

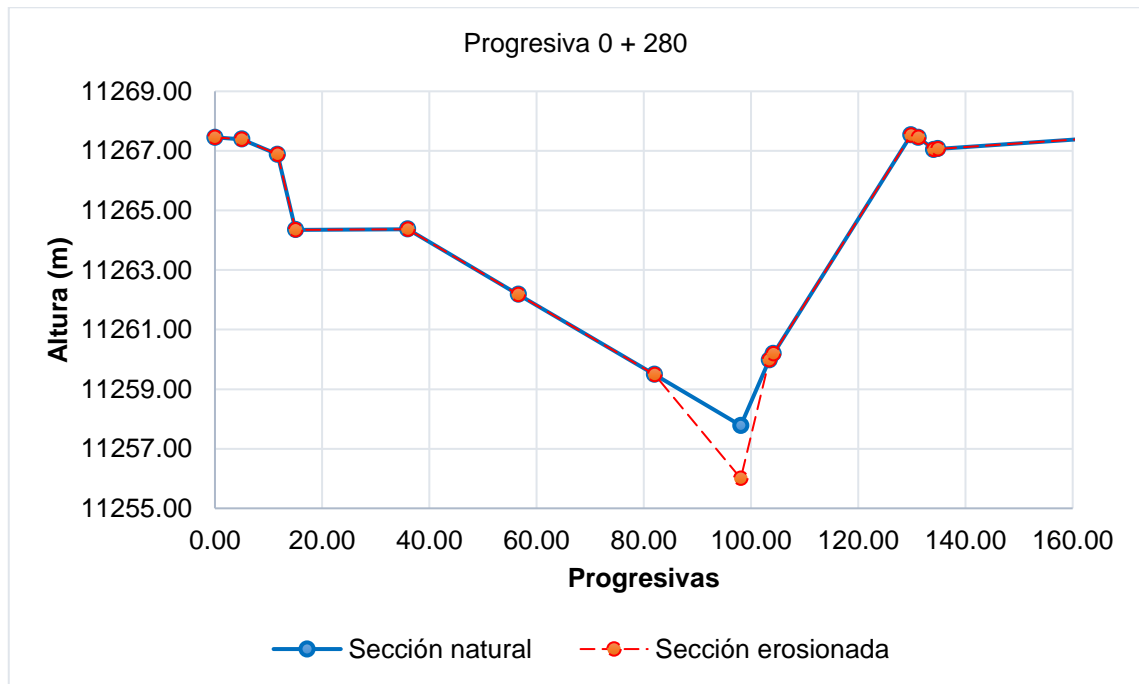


Figura 26. Erosión en la progresiva 0 + 280.  
 Tabla 71. Área de erosión en la progresiva 0 + 280.

Vértice	X (m)	Y (m)
1	82.02	11259.49
2	98.11	11257.78
3	103.41	11259.98
4	103.41	11259.98
5	98.11	11256.00
6	82.02	11259.49
1	82.02	11259.49
Sumatoria	6384694.95	6384732.93
Área (m <sup>2</sup> )		18.99

Tabla 72. Erosión en la progresiva 0 + 300.

Progresiva	300	Cota de agua (m)	11260.06	m	
X (m)	Y (m)	Tirante <sub>1</sub>	Tirante	Profundidad de socavación (m)	Nueva cota (m)
0.00	11263.82	-3.76	0.00	0.00	11263.82
2.13	11262.17	-2.11	0.00	0.00	11262.17
50.69	11260.57	-0.51	0.00	0.00	11260.57
78.60	11259.65	0.41	0.41	0.40	11259.25
82.02	11259.32	0.74	0.74	0.86	11258.46
84.58	11259.07	0.99	0.99	1.27	11257.80
91.62	11262.05	-1.99	0.00	0.00	11262.05
93.01	11262.82	-2.76	0.00	0.00	11262.82
94.45	11263.61	-3.55	0.00	0.00	11263.61
107.52	11269.46	-9.40	0.00	0.00	11269.46
108.56	11269.40	-9.34	0.00	0.00	11269.40
110.42	11269.16	-9.10	0.00	0.00	11269.16
114.89	11268.93	-8.87	0.00	0.00	11268.93
133.97	11268.39	-8.33	0.00	0.00	11268.39
143.31	11268.67	-8.61	0.00	0.00	11268.67
161.79	11269.68	-9.62	0.00	0.00	11269.68
164.04	11269.82	-9.76	0.00	0.00	11269.82

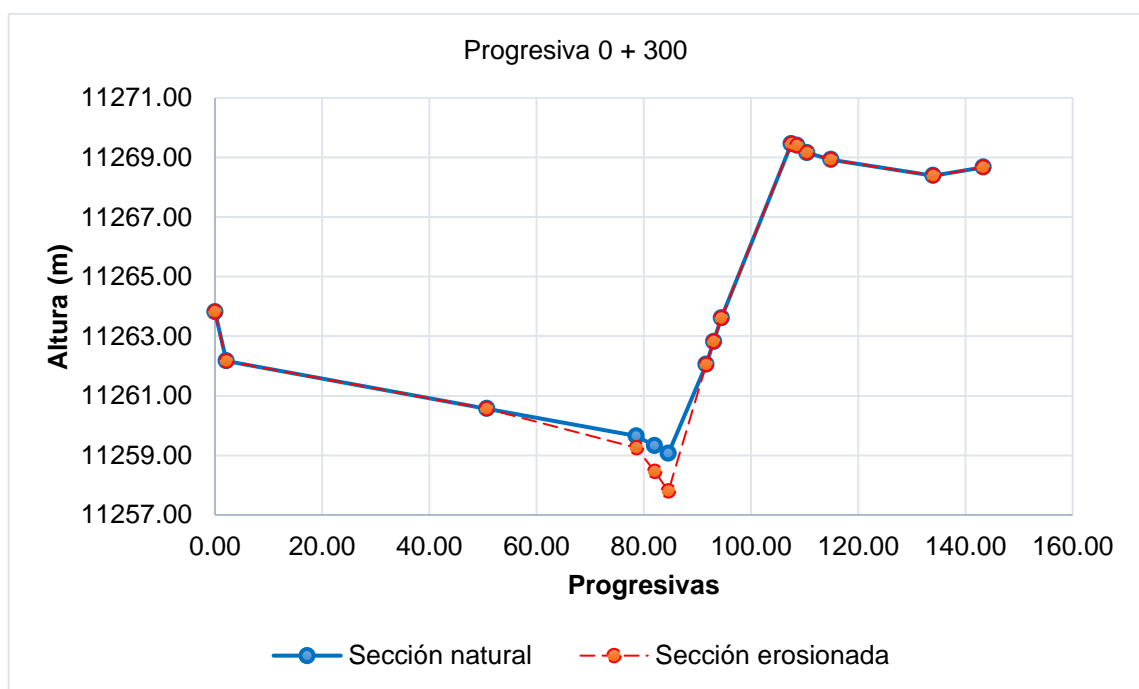


Figura 27. Erosión en la progresiva 0 + 300.

Tabla 73. Área de erosión en la progresiva 0 + 300.

Vértice	X (m)	Y (m)
1	50.69	11260.57
2	78.60	11259.65
3	82.02	11259.32
4	84.58	11259.07
5	91.62	11262.05
6	91.62	11262.05
7	84.58	11257.80
8	82.02	11258.46
9	78.60	11259.25
10	50.69	11260.57
1	50.69	11260.57
Sumatoria	8726756.66	8726786.48
Área (m <sup>2</sup> )		14.91

Tabla 74. Erosión en la progresiva 0 + 320.

Progresiva	320	Cota de agua (m)	11260.52	m	
X (m)	Y (m)	Tirante <sub>1</sub>	Tirante	Profundidad de socavación (m)	Nueva cota (m)
0.00	11264.06	-3.54	0.00	0.00	11264.06
15.79	11260.38	0.14	0.14	0.22	11260.16
42.01	11260.12	0.40	0.40	0.88	11259.24
47.68	11261.64	-1.12	0.00	0.00	11261.64
64.47	11262.00	-1.48	0.00	0.00	11262.00
82.02	11262.37	-1.85	0.00	0.00	11262.37
88.84	11262.52	-2.00	0.00	0.00	11262.52
96.62	11264.08	-3.56	0.00	0.00	11264.08
107.99	11266.38	-5.86	0.00	0.00	11266.38
117.15	11268.15	-7.63	0.00	0.00	11268.15
118.74	11269.35	-8.83	0.00	0.00	11269.35
137.09	11270.41	-9.89	0.00	0.00	11270.41
140.85	11270.63	-10.11	0.00	0.00	11270.63
141.68	11270.66	-10.14	0.00	0.00	11270.66
164.04	11271.66	-11.14	0.00	0.00	11271.66

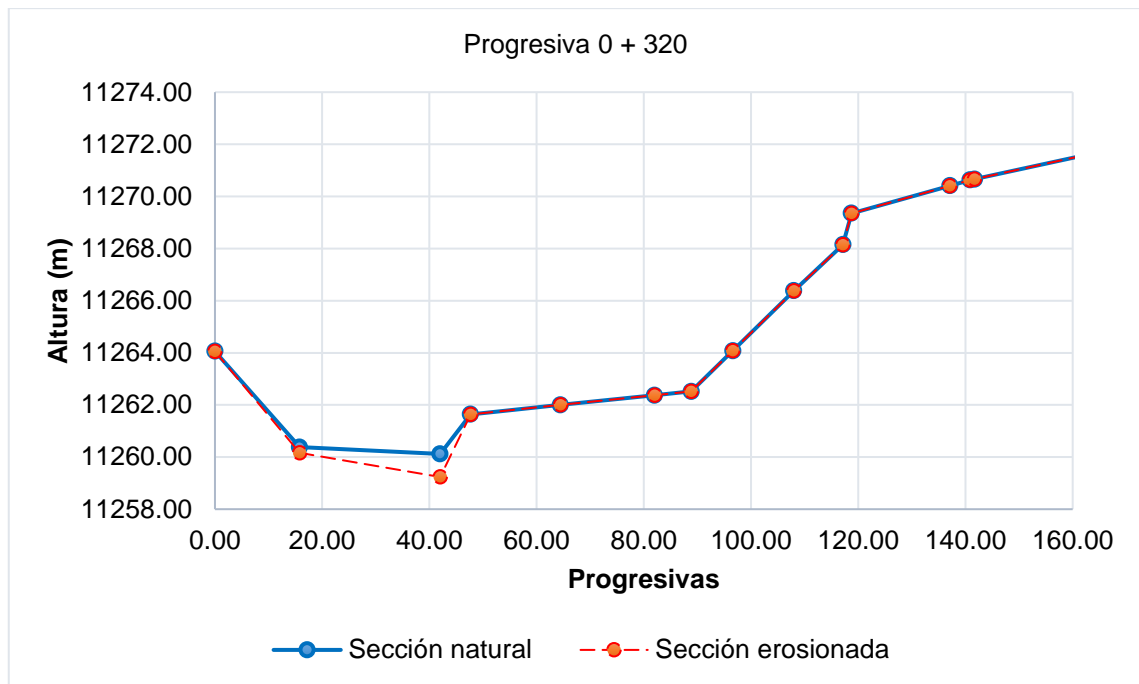


Figura 28. Erosión en la progresiva 0 + 320.  
 Tabla 75. Área de erosión en la progresiva 0 + 320.

Vértice	X (m)	Y (m)
1	0.00	11264.06
2	15.79	11260.38
3	42.01	11260.12
4	47.68	11261.64
5	47.68	11261.64
6	42.01	11259.24
7	15.79	11260.16
8	0.00	11264.06
1	0.00	11264.06
Sumatoria	2375640.17	2375677.72
Área (m <sup>2</sup> )		18.77

Tabla 76. Erosión en la progresiva 0 + 340.

Progresiva	340	Cota de agua (m)	11262.09	m	
X (m)	Y (m)	Tirante <sub>1</sub>	Tirante	Profundidad de socavación (m)	Nueva cota (m)
0.00	11269.59	-7.50	0.00	0.00	11269.59
10.26	11267.22	-5.13	0.00	0.00	11267.22
32.41	11262.41	-0.32	0.00	0.00	11262.41
52.38	11262.35	-0.26	0.00	0.00	11262.35
64.47	11262.13	-0.04	0.00	0.00	11262.13
82.02	11261.81	0.28	0.28	0.50	11261.31
88.74	11261.69	0.40	0.40	0.80	11260.89

99.12	11265.01	-2.92	0.00	0.00	11265.01
99.90	11265.31	-3.22	0.00	0.00	11265.31
104.18	11266.93	-4.84	0.00	0.00	11266.93
112.20	11268.73	-6.64	0.00	0.00	11268.73
112.42	11269.86	-7.77	0.00	0.00	11269.86
120.40	11270.46	-8.37	0.00	0.00	11270.46
122.23	11272.01	-9.92	0.00	0.00	11272.01
123.50	11271.93	-9.84	0.00	0.00	11271.93
132.07	11271.76	-9.67	0.00	0.00	11271.76
145.51	11272.58	-10.49	0.00	0.00	11272.58
159.29	11273.15	-11.06	0.00	0.00	11273.15
164.04	11273.38	-11.29	0.00	0.00	11273.38

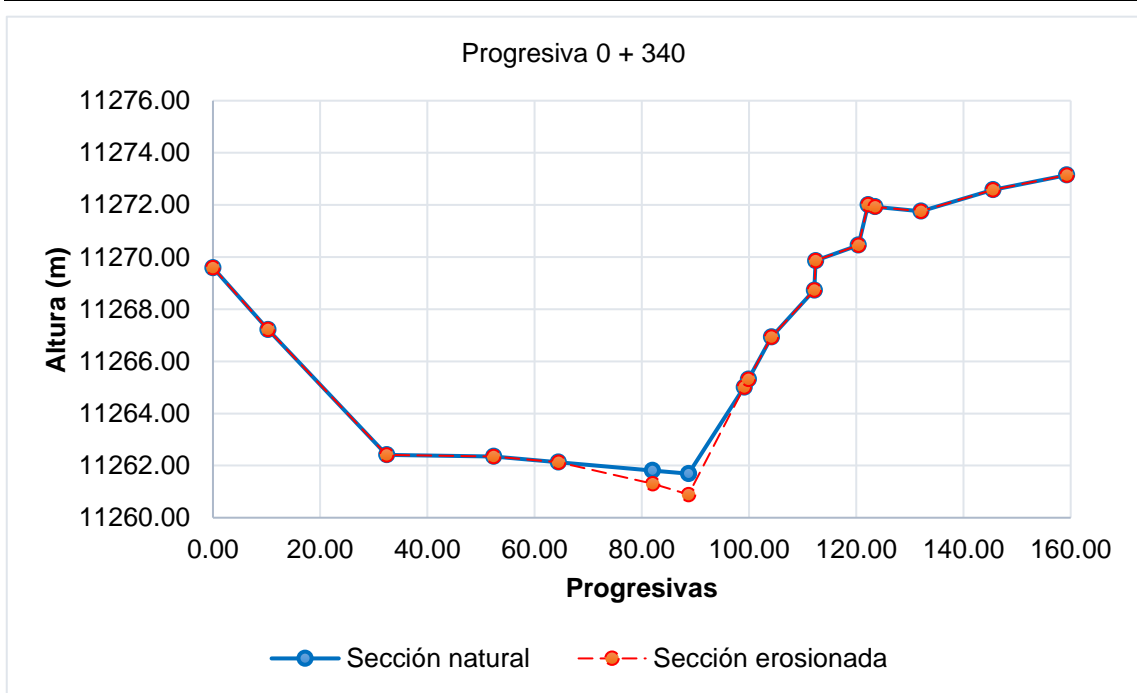


Figura 29. Erosión en la progresiva 0 + 340.  
 Tabla 77. Área de erosión en la progresiva 0 + 340.

Vértice	X (m)	Y (m)
1	64.47	11262.13
2	82.02	11261.81
3	88.74	11261.69
4	99.12	11265.01
5	99.12	11265.01
6	88.74	11260.89
7	82.02	11261.31
8	64.47	11262.13
1	64.47	11262.13
Sumatoria	7531140.02	7531165.79
Área (m <sup>2</sup> )		12.89

Tabla 78. Erosión en la progresiva 0 + 360.

Progresiva	360	Cota de agua (m)		m	
X (m)	Y (m)	Tirante <sub>1</sub>	Tirante	Profundidad de socavación (m)	Nueva cota (m)
0.00	11274.14	-10.98	0.00	0.00	11274.14
19.80	11269.89	-6.73	0.00	0.00	11269.89
39.05	11267.87	-4.71	0.00	0.00	11267.87
58.34	11263.80	-0.64	0.00	0.00	11263.80
62.01	11263.68	-0.52	0.00	0.00	11263.68
79.40	11263.13	0.03	0.03	0.04	11263.09
82.02	11263.01	0.15	0.15	0.32	11262.69
88.70	11262.69	0.47	0.47	1.44	11261.25
96.40	11265.16	-2.00	0.00	0.00	11265.16
100.71	11266.59	-3.43	0.00	0.00	11266.59
101.38	11266.75	-3.59	0.00	0.00	11266.75
122.34	11271.70	-8.54	0.00	0.00	11271.70
128.11	11272.13	-8.97	0.00	0.00	11272.13
128.35	11273.25	-10.09	0.00	0.00	11273.25
137.42	11273.28	-10.12	0.00	0.00	11273.28
143.59	11274.55	-11.39	0.00	0.00	11274.55
149.21	11275.23	-12.07	0.00	0.00	11275.23
157.27	11274.13	-10.97	0.00	0.00	11274.13
162.57	11274.82	-11.66	0.00	0.00	11274.82
164.04	11274.83	-11.67	0.00	0.00	11274.83

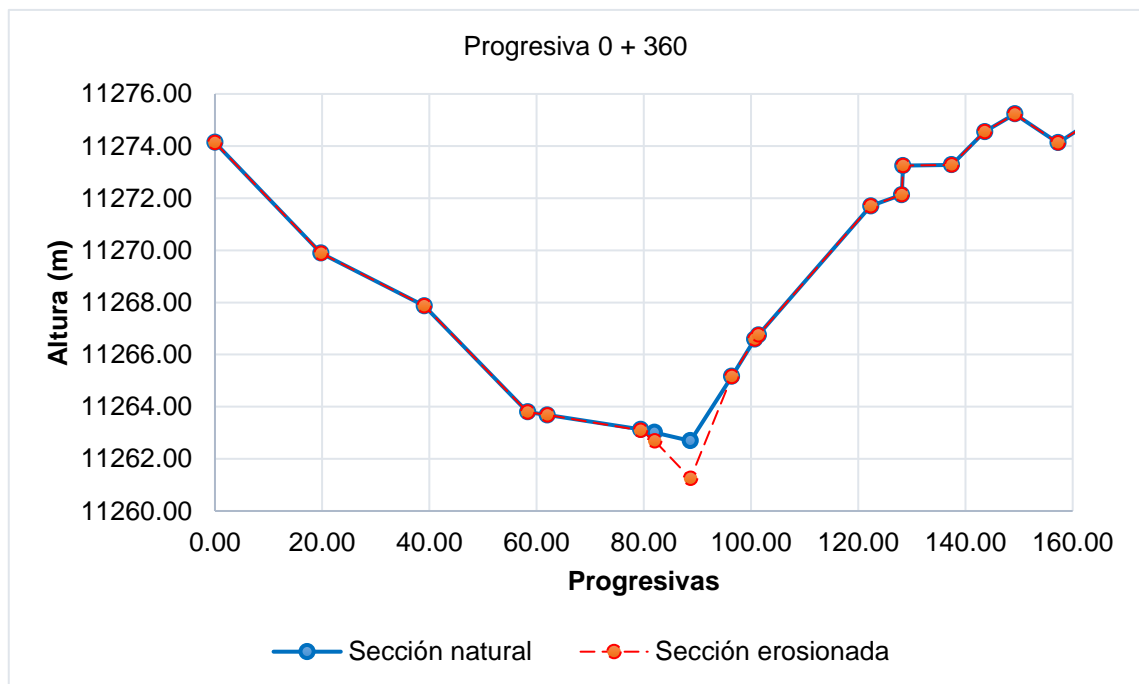


Figura 30. Erosión en la progresiva 0 + 360.

Tabla 79. Área de erosión en la progresiva 0 + 360.

Vértice	X (m)	Y (m)
1	62.01	11263.68
2	79.40	11263.13
3	82.02	11263.01
4	88.70	11262.69
5	96.40	11265.16
6	96.40	11265.16
7	88.70	11261.25
8	82.02	11262.69
9	79.40	11263.09
10	62.01	11263.68
1	62.01	11263.68
Sumatoria	9202996.87	9203021.40
Área (m <sup>2</sup> )		12.27

Tabla 80. Erosión en la progresiva 0 + 380.

Progresiva	380	Cota de agua (m)	11265.29	m	
X (m)	Y (m)	Tirante <sub>1</sub>	Tirante	Profundidad de socavación (m)	Nueva cota (m)
0.00	11275.43	-10.14	0.00	0.00	11275.43
9.60	11275.73	-10.44	0.00	0.00	11275.73
23.01	11274.71	-9.42	0.00	0.00	11274.71
36.88	11272.30	-7.01	0.00	0.00	11272.30
50.91	11271.15	-5.86	0.00	0.00	11271.15
56.46	11268.43	-3.14	0.00	0.00	11268.43
60.52	11265.79	-0.50	0.00	0.00	11265.79
61.52	11265.54	-0.25	0.00	0.00	11265.54
65.98	11264.39	0.90	0.90	1.81	11262.58
82.02	11267.31	-2.02	0.00	0.00	11267.31
97.90	11270.21	-4.92	0.00	0.00	11270.21
102.53	11271.35	-6.06	0.00	0.00	11271.35
122.84	11276.34	-11.05	0.00	0.00	11276.34
128.82	11277.28	-11.99	0.00	0.00	11277.28
130.16	11277.43	-12.14	0.00	0.00	11277.43
144.41	11276.26	-10.97	0.00	0.00	11276.26
156.04	11275.52	-10.23	0.00	0.00	11275.52
161.17	11275.23	-9.94	0.00	0.00	11275.23
163.11	11275.29	-10.00	0.00	0.00	11275.29
164.04	11275.54	-10.25	0.00	0.00	11275.54



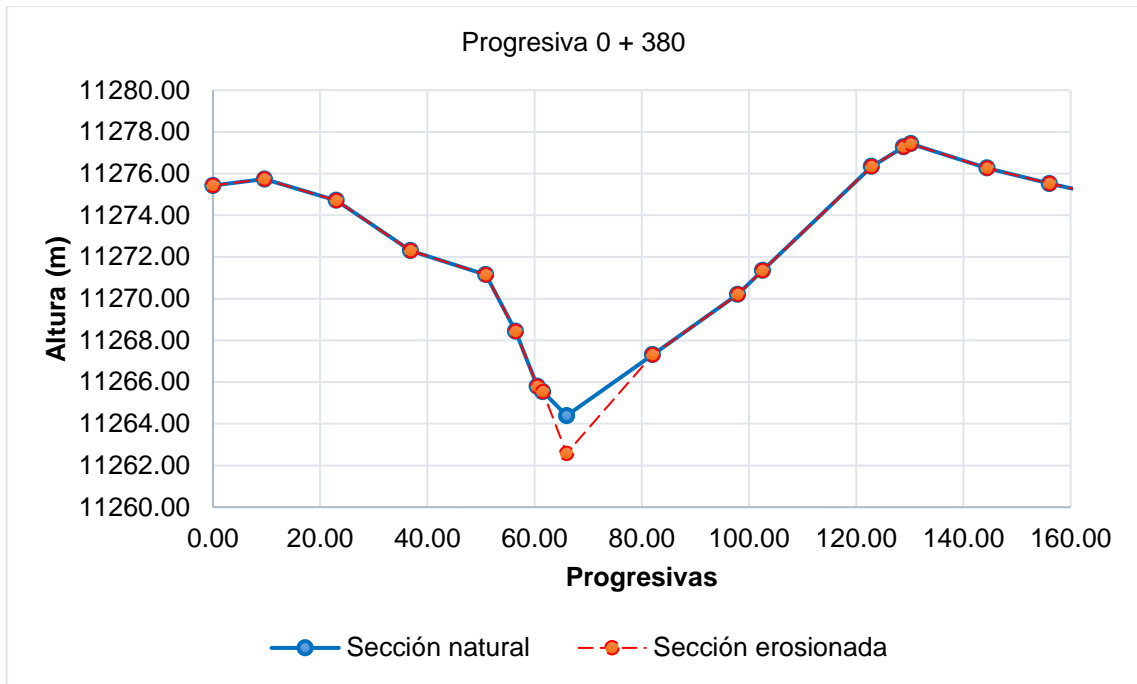


Figura 31. Erosión en la progresiva 0 + 380.  
 Tabla 81. Área de erosión en la progresiva 0 + 380.

Vértice	X (m)	Y (m)
1	61.52	11265.54
2	65.98	11264.39
3	82.02	11267.31
4	82.02	11267.31
5	65.98	11262.58
6	61.52	11265.54
1	61.52	11265.54
Sumatoria	4720617.76	4720654.81
Área (m <sup>2</sup> )		18.53

Tabla 82. Erosión en la progresiva 0 + 400.

400	Cota de agua (m)	11266.85	m		
Y (m)	Tirante <sub>1</sub>	Tirante	Profundidad de socavación (m)	Nueva cota (m)	
11279.36	-12.51	0.00	0.00	11279.36	
11279.54	-12.69	0.00	0.00	11279.54	
11276.14	-9.29	0.00	0.00	11276.14	
11277.77	-10.92	0.00	0.00	11277.77	
11276.92	-10.07	0.00	0.00	11276.92	
11271.65	-4.80	0.00	0.00	11271.65	
11267.61	-0.76	0.00	0.00	11267.61	
11266.40	0.45	0.45	0.42	11265.98	
11266.67	0.18	0.18	0.13	11266.54	
11266.83	0.02	0.02	0.01	11266.82	
11267.47	-0.62	0.00	0.00	11267.47	

11267.59	-0.74	0.00	0.00	11267.59
11267.93	-1.08	0.00	0.00	11267.93
11269.64	-2.79	0.00	0.00	11269.64
11271.33	-4.48	0.00	0.00	11271.33
11275.37	-8.52	0.00	0.00	11275.37
11275.31	-8.46	0.00	0.00	11275.31
11274.75	-7.90	0.00	0.00	11274.75
11273.50	-6.65	0.00	0.00	11273.50
11274.00	-7.15	0.00	0.00	11274.00
11275.17	-8.32	0.00	0.00	11275.17
11275.44	-8.59	0.00	0.00	11275.44

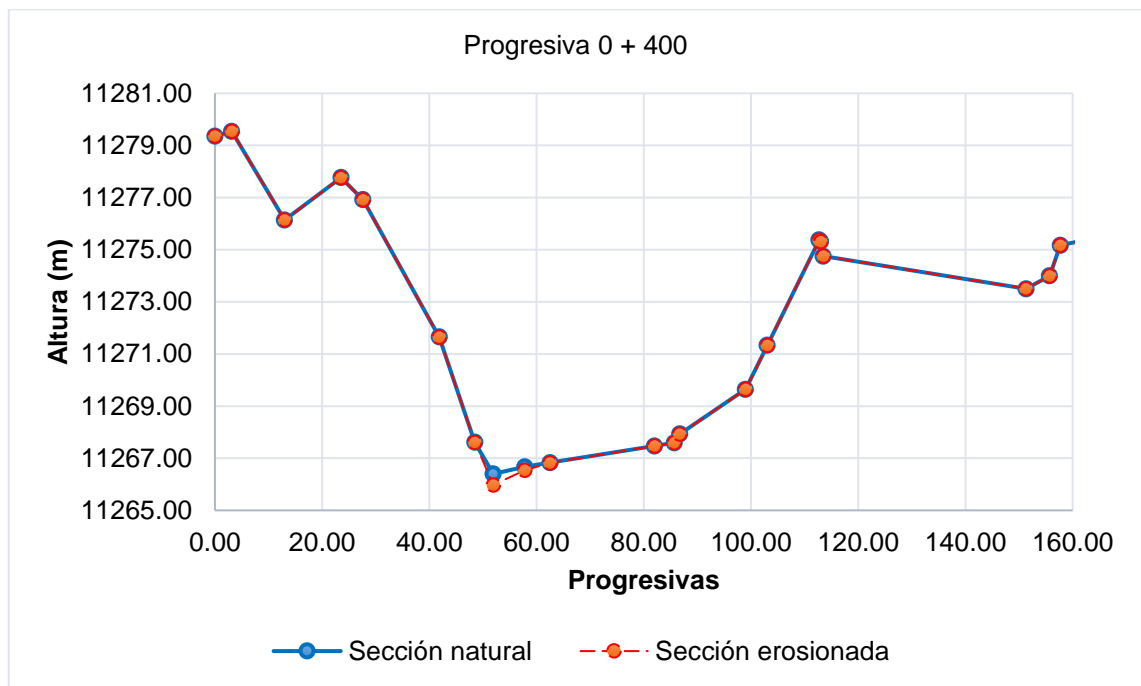


Figura 32. Erosión en la progresiva 0 + 400.  
 Tabla 83. Área de erosión en la progresiva 0 + 400.

Vértice	X (m)	Y (m)
1	48.48	11267.61
2	51.93	11266.40
3	57.81	11266.67
4	62.50	11266.83
5	82.02	11267.47
6	82.02	11267.47
7	62.50	11266.82
8	57.81	11266.54
9	51.93	11265.98
10	48.48	11267.61
1	48.48	11267.61
Sumatoria	6821824.14	6821829.56
Área (m <sup>2</sup> )		2.71

Tabla 84. Erosión en la progresiva 0 + 420.

Progresiva	420	Cota de agua (m)	11269.12	m	
X (m)	Y (m)	Tirante <sub>1</sub>	Tirante	Profundidad de socavación (m)	Nueva cota (m)
0.00	11280.25	-11.13	0.00	0.00	11280.25
3.99	11279.06	-9.94	0.00	0.00	11279.06
10.40	11280.33	-11.21	0.00	0.00	11280.33
14.69	11278.24	-9.12	0.00	0.00	11278.24
21.81	11274.07	-4.95	0.00	0.00	11274.07
54.81	11268.93	0.19	0.19	0.16	11268.77
60.04	11268.86	0.26	0.26	0.24	11268.62
78.51	11268.63	0.49	0.49	0.56	11268.07
82.02	11269.08	0.04	0.04	0.02	11269.06
86.63	11269.66	-0.54	0.00	0.00	11269.66
98.04	11270.56	-1.44	0.00	0.00	11270.56
103.24	11272.94	-3.82	0.00	0.00	11272.94
118.38	11275.69	-6.57	0.00	0.00	11275.69
119.40	11276.46	-7.34	0.00	0.00	11276.46
121.76	11276.41	-7.29	0.00	0.00	11276.41
127.79	11276.14	-7.02	0.00	0.00	11276.14
129.50	11276.06	-6.94	0.00	0.00	11276.06
149.41	11275.51	-6.39	0.00	0.00	11275.51
161.48	11276.56	-7.44	0.00	0.00	11276.56
164.04	11276.76	-7.64	0.00	0.00	11276.76

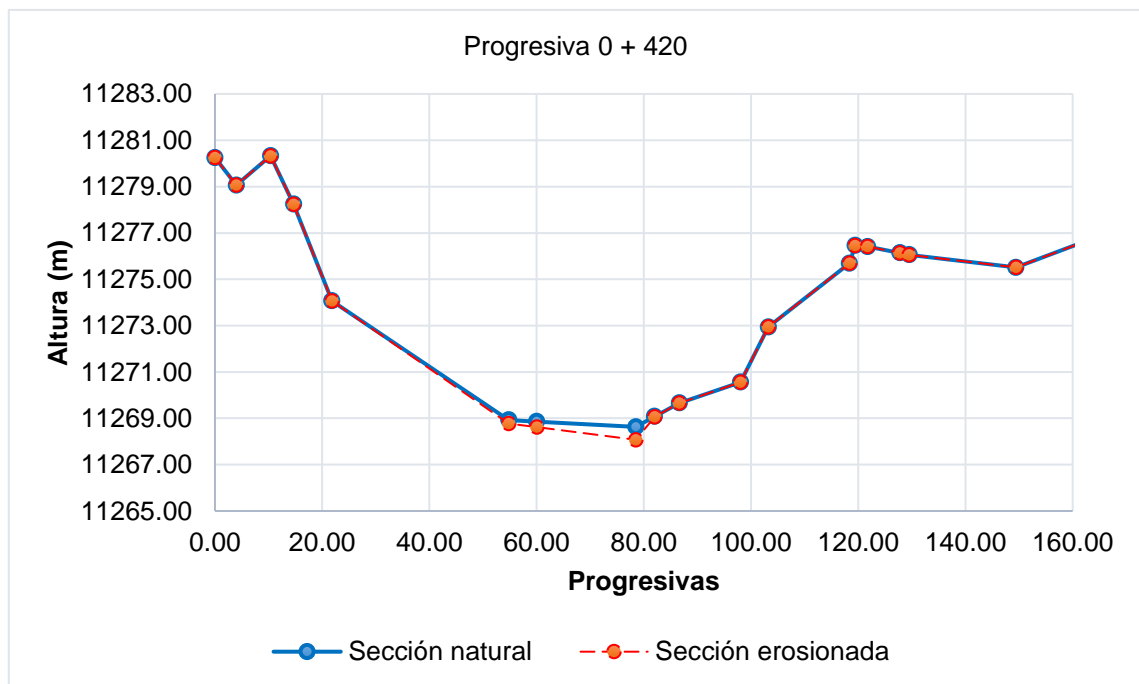


Figura 33. Erosión en la progresiva 0 + 420.

Tabla 85. Área de erosión en la progresiva 0 + 420.

Vértice	X (m)	Y (m)
1	21.81	11274.07
2	54.81	11268.93
3	60.04	11268.86
4	78.51	11268.63
5	82.02	11269.08
6	86.63	11269.66
7	86.63	11269.66
8	82.02	11269.06
9	78.51	11268.07
10	60.04	11268.62
11	54.81	11268.77
12	21.81	11274.07
1	21.81	11274.07
Sumatoria	8651007.77	8651032.06
Área (m <sup>2</sup> )		12.14

Tabla 86. Erosión en la progresiva 0 + 440.

Progresiva	440	Cota de agua (m)	11277.15	m	
X (m)	Y (m)	Tirante <sub>1</sub>	Tirante	Profundidad de socavación (m)	Nueva cota (m)
0.00	11281.04	-3.89	0.00	0.00	11281.04
0.87	11280.77	-3.62	0.00	0.00	11280.77
1.76	11280.79	-3.64	0.00	0.00	11280.79
1.92	11280.79	-3.64	0.00	0.00	11280.79
14.21	11279.34	-2.19	0.00	0.00	11279.34
20.29	11280.07	-2.92	0.00	0.00	11280.07
21.32	11280.05	-2.90	0.00	0.00	11280.05
27.28	11278.93	-1.78	0.00	0.00	11278.93
29.63	11276.35	0.80	0.80	0.82	11275.53
39.22	11276.84	0.31	0.31	0.24	11276.60
56.43	11277.00	0.15	0.15	0.09	11276.91
75.16	11277.18	-0.03	0.00	0.00	11277.18
82.02	11277.13	0.02	0.02	0.00	11277.13
88.67	11277.07	0.08	0.08	0.00	11277.07
126.09	11277.13	0.02	0.02	0.00	11277.13
131.74	11277.07	0.08	0.08	0.00	11277.07
135.33	11277.26	-0.11	0.00	0.00	11277.26
139.66	11277.14	0.01	0.01	0.00	11277.14
146.00	11278.43	-1.28	0.00	0.00	11278.43
150.87	11279.42	-2.27	0.00	0.00	11279.42
159.71	11279.14	-1.99	0.00	0.00	11279.14
164.04	11279.56	-2.41	0.00	0.00	11279.56

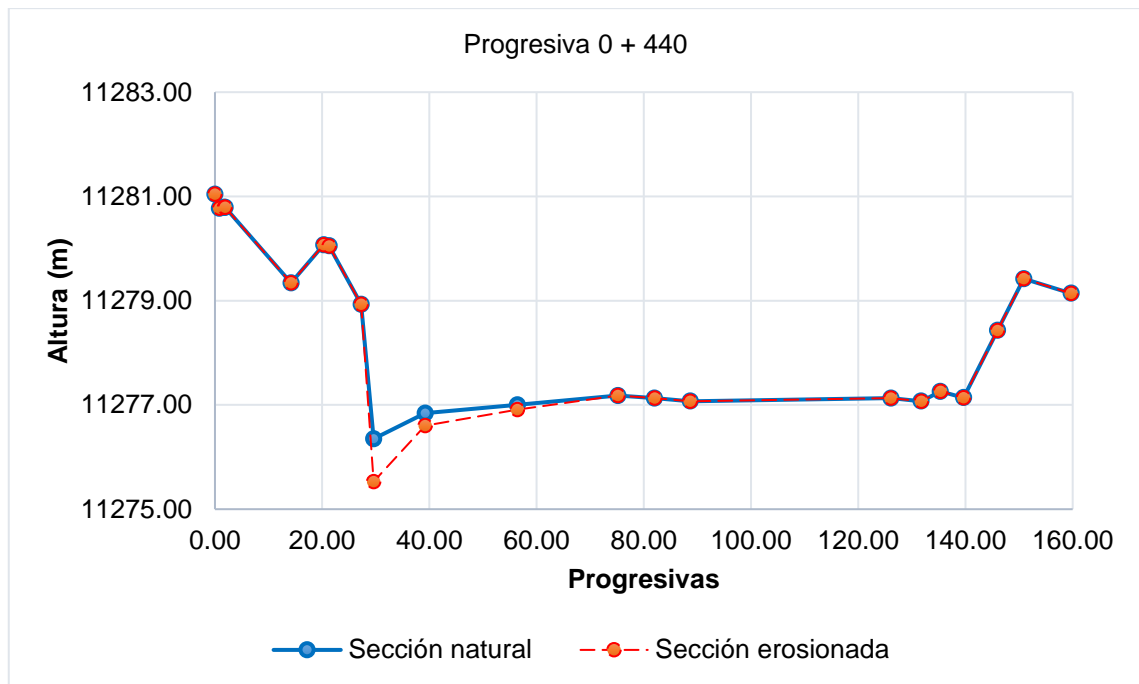


Figura 34. Erosión en la progresiva 0 + 440.  
 Tabla 87. Área de erosión en la progresiva 0 + 440.

Vértice	X (m)	Y (m)
1	27.28	11278.93
2	29.63	11276.35
3	39.22	11276.84
4	56.43	11277.00
5	75.16	11277.18
6	75.16	11277.18
7	56.43	11276.91
8	39.22	11276.60
9	29.63	11275.53
10	27.28	11278.93
1	27.28	11278.93
Sumatoria	5135856.34	5135875.77
Área (m <sup>2</sup> )		9.71

Tabla 88. Erosión en la progresiva 0 + 460.

Progresiva	460	Cota de agua (m)		m	
X (m)	Y (m)	Tirante <sub>1</sub>	Tirante	Profundidad de socavación (m)	Nueva cota (m)
0.00	11283.75	-6.27	0.00	0.00	11283.75
12.60	11285.45	-7.97	0.00	0.00	11285.45
14.64	11285.68	-8.20	0.00	0.00	11285.68
20.56	11281.55	-4.07	0.00	0.00	11281.55
25.43	11279.96	-2.48	0.00	0.00	11279.96

32.05	11276.83	0.65	0.65	0.61	11276.22
49.79	11277.08	0.40	0.40	0.32	11276.76
82.02	11277.54	-0.06	0.00	0.00	11277.54
84.38	11277.57	-0.09	0.00	0.00	11277.57
117.47	11278.21	-0.73	0.00	0.00	11278.21
135.65	11279.55	-2.07	0.00	0.00	11279.55
140.84	11279.96	-2.48	0.00	0.00	11279.96
147.03	11280.45	-2.97	0.00	0.00	11280.45
147.32	11280.49	-3.01	0.00	0.00	11280.49

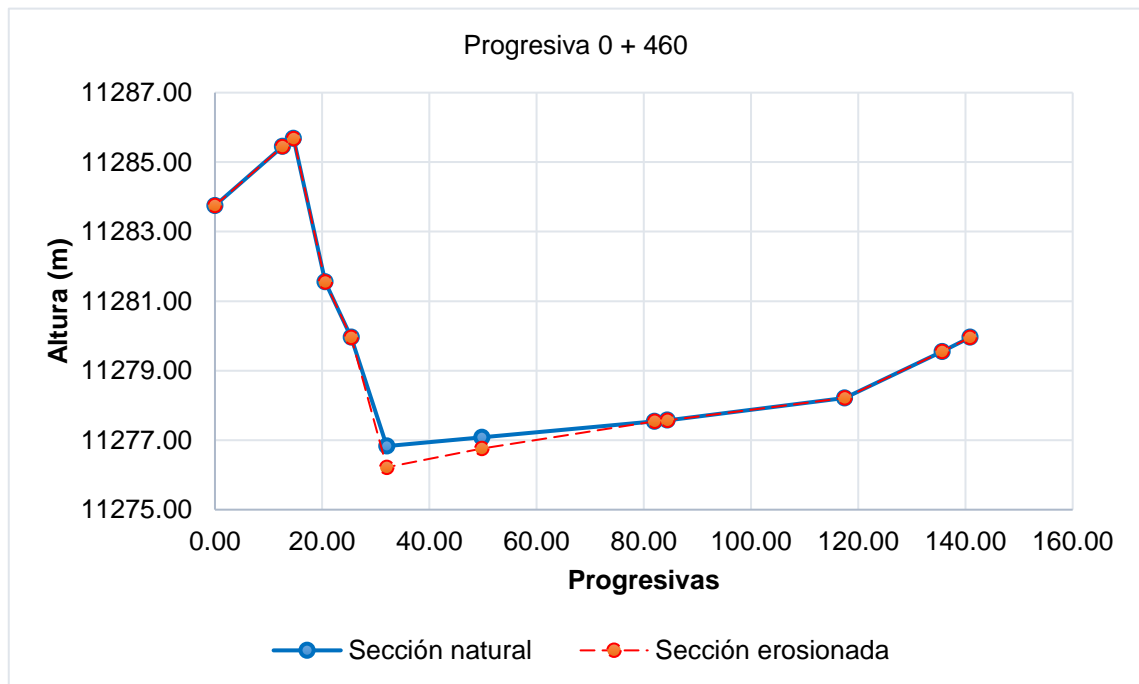


Figura 35. Erosión en la progresiva 0 + 460.  
 Tabla 89. Área de erosión en la progresiva 0 + 460.

Vértice	X (m)	Y (m)
1	25.43	11279.96
2	32.05	11276.83
3	49.79	11277.08
4	82.02	11277.54
5	82.02	11277.54
6	49.79	11276.76
7	32.05	11276.22
8	25.43	11279.96
1	25.43	11279.96
Sumatoria	4269522.20	4269553.19
Área (m <sup>2</sup> )		15.49

Tabla 90. Erosión en la progresiva 0 + 480.

Progresiva	480	Cota de agua (m)	11278.42	m	
X (m)	Y (m)	Tirante <sub>1</sub>	Tirante	Profundidad de socavación (m)	Nueva cota (m)
0.00	11284.53	-6.11	0.00	0.00	11284.53
17.23	11281.71	-3.29	0.00	0.00	11281.71
25.08	11278.10	0.32	0.32	0.48	11277.62
38.05	11278.16	0.26	0.26	0.37	11277.79
59.02	11278.26	0.16	0.16	0.19	11278.07
82.02	11278.65	-0.23	0.00	0.00	11278.65
115.35	11279.23	-0.81	0.00	0.00	11279.23
127.16	11281.26	-2.84	0.00	0.00	11281.26
127.27	11281.26	-2.84	0.00	0.00	11281.26
134.83	11281.15	-2.73	0.00	0.00	11281.15
144.62	11282.33	-3.91	0.00	0.00	11282.33
145.78	11282.37	-3.95	0.00	0.00	11282.37

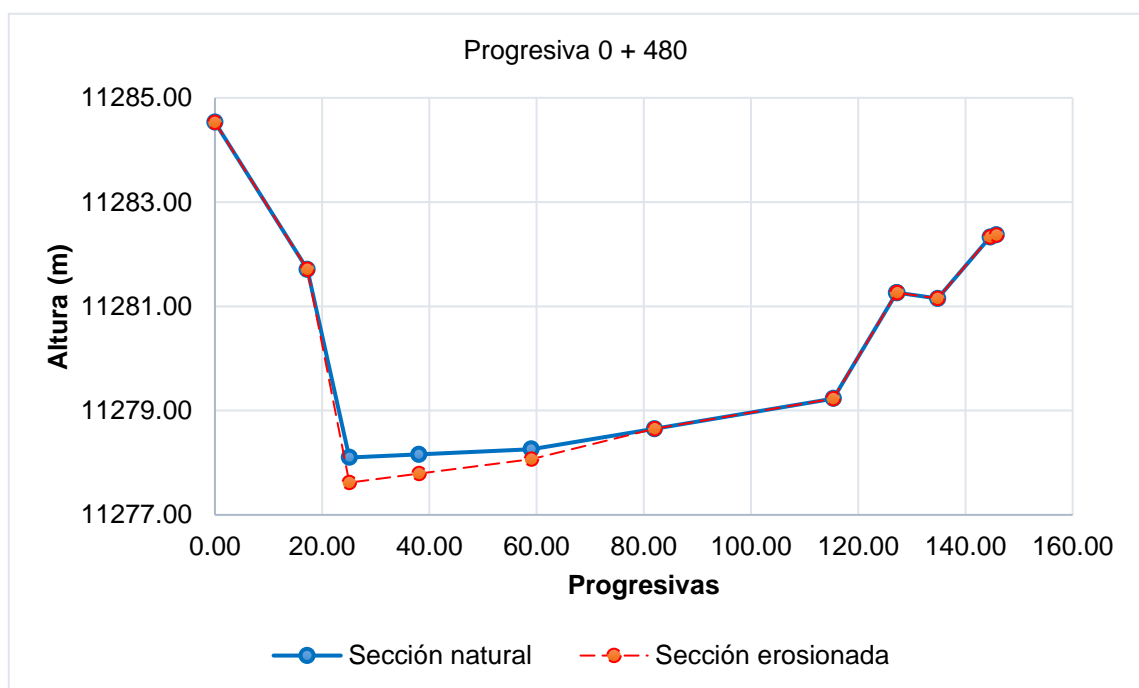


Figura 36. Erosión en la progresiva 0 + 480.

Tabla 91. Área de erosión en la progresiva 0 + 480.

Vértice	X (m)	Y (m)
1	17.23	11281.71
2	25.08	11278.10
3	38.05	11278.16
4	59.02	11278.26
5	82.02	11278.65
6	82.02	11278.65

7	59.02	11278.07
8	38.05	11277.79
9	25.08	11277.62
10	17.23	11281.71
1	17.23	11281.71
<b>Sumatoria</b>	<b>4994299.31</b>	<b>4994330.29</b>
<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>		<b>15.49</b>

Tabla 92. Erosión en la progresiva 0 + 500.

Progresiva	500	Cota de agua (m)	11279.41	m		
X (m)	Y (m)	Tirante <sub>1</sub>	Tirante	Profundidad de socavación (m)	Nueva cota (m)	
0.00	11283.78	-4.37	0.00	0.00	11283.78	
2.75	11283.30	-3.89	0.00	0.00	11283.30	
20.25	11282.35	-2.94	0.00	0.00	11282.35	
21.63	11283.62	-4.21	0.00	0.00	11283.62	
28.70	11279.12	0.29	0.29	0.67	11278.45	
32.78	11279.12	0.29	0.29	0.67	11278.45	
37.07	11279.17	0.24	0.24	0.52	11278.65	
82.02	11279.63	-0.22	0.00	0.00	11279.63	
106.18	11279.87	-0.46	0.00	0.00	11279.87	
123.06	11281.47	-2.06	0.00	0.00	11281.47	
125.24	11281.68	-2.27	0.00	0.00	11281.68	
142.14	11284.49	-5.08	0.00	0.00	11284.49	
148.26	11284.45	-5.04	0.00	0.00	11284.45	

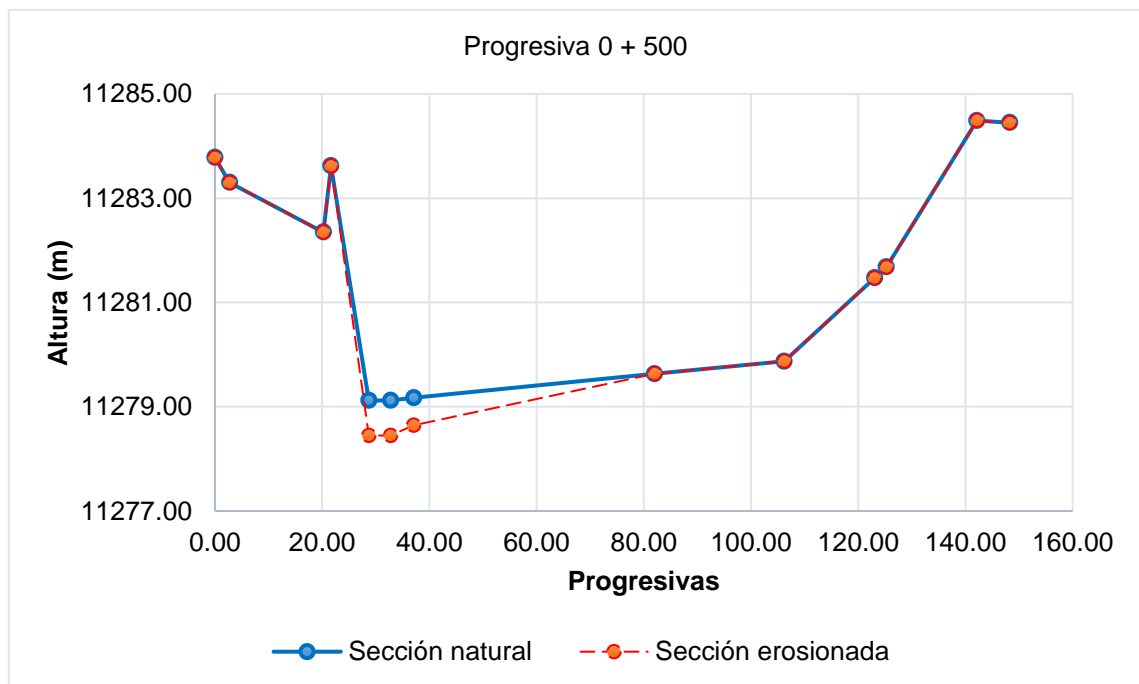


Figura 37. Erosión en la progresiva 0 + 500.



Tabla 93. Área de erosión en la progresiva 0 + 500.

Vértice	X (m)	Y (m)
1	21.63	11283.62
2	28.70	11279.12
3	32.78	11279.12
4	37.07	11279.17
5	82.02	11279.63
6	82.02	11279.63
7	37.07	11278.65
8	32.78	11278.45
9	28.70	11278.45
10	21.63	11283.62
1	21.63	11283.62
Sumatoria	4561587.37	4561626.33
Área (m <sup>2</sup> )		19.48

Tabla 94. Erosión en la progresiva 0 + 520.

Progresiva	520	Cota de agua (m)	11281.12	m	
X (m)	Y (m)	Tirante <sub>1</sub>	Tirante	Profundidad de socavación (m)	Nueva cota (m)
0.00	11289.41	-8.29	0.00	0.00	11289.41
3.58	11289.39	-8.27	0.00	0.00	11289.39
8.36	11289.44	-8.32	0.00	0.00	11289.44
14.00	11291.41	-10.29	0.00	0.00	11291.41
22.15	11288.41	-7.29	0.00	0.00	11288.41
31.65	11282.32	-1.20	0.00	0.00	11282.32
32.79	11282.49	-1.37	0.00	0.00	11282.49
35.18	11280.97	0.15	0.15	0.19	11280.78
40.01	11280.97	0.15	0.15	0.19	11280.78
82.02	11280.99	0.13	0.13	0.16	11280.83
88.93	11280.99	0.13	0.13	0.16	11280.83
99.59	11281.10	0.02	0.02	0.01	11281.09
115.16	11282.57	-1.45	0.00	0.00	11282.57
115.79	11282.63	-1.51	0.00	0.00	11282.63
136.54	11284.72	-3.60	0.00	0.00	11284.72

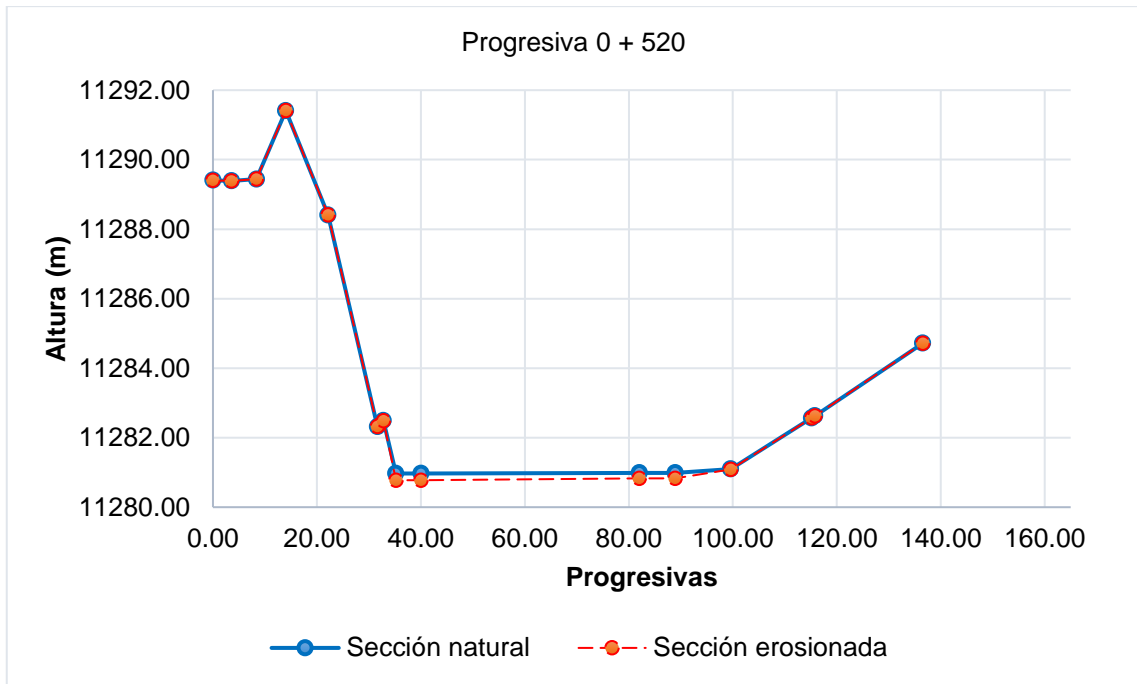


Figura 38. Erosión en la progresiva 0 + 520.  
 Tabla 95. Área de erosión en la progresiva 0 + 520.

Vértice	X (m)	Y (m)
1	32.79	11282.49
2	35.18	11280.97
3	40.01	11280.97
4	82.02	11280.99
5	88.93	11280.99
6	99.59	11281.10
7	115.16	11282.57
8	115.16	11282.57
9	99.59	11281.09
10	88.93	11280.83
11	82.02	11280.83
12	40.01	11280.78
13	35.18	11280.78
14	32.79	11282.49
1	32.79	11282.49
Sumatoria	11138827.68	11138849.13
Área (m <sup>2</sup> )		10.72

Tabla 96. Erosión en la progresiva 0 + 540.

Progresiva	540	Cota de agua (m)		m	
X (m)	Y (m)	Tirante <sub>1</sub>	Tirante	Profundidad de socavación (m)	Nueva cota (m)
0.00	11290.96	-8.66	0.00	0.00	11290.96
7.60	11291.35	-9.05	0.00	0.00	11291.35
17.32	11288.98	-6.68	0.00	0.00	11288.98
20.95	11290.07	-7.77	0.00	0.00	11290.07
25.87	11288.33	-6.03	0.00	0.00	11288.33
31.07	11285.46	-3.16	0.00	0.00	11285.46
35.86	11282.30	0.00	0.00	0.00	11282.30
41.49	11282.28	0.02	0.02	0.02	11282.26
82.02	11282.10	0.20	0.20	0.39	11281.71
83.57	11282.09	0.21	0.21	0.42	11281.67
85.20	11282.08	0.22	0.22	0.44	11281.64
90.49	11282.34	-0.04	0.00	0.00	11282.34
94.42	11282.65	-0.35	0.00	0.00	11282.65
95.47	11282.76	-0.46	0.00	0.00	11282.76
138.76	11287.17	-4.87	0.00	0.00	11287.17

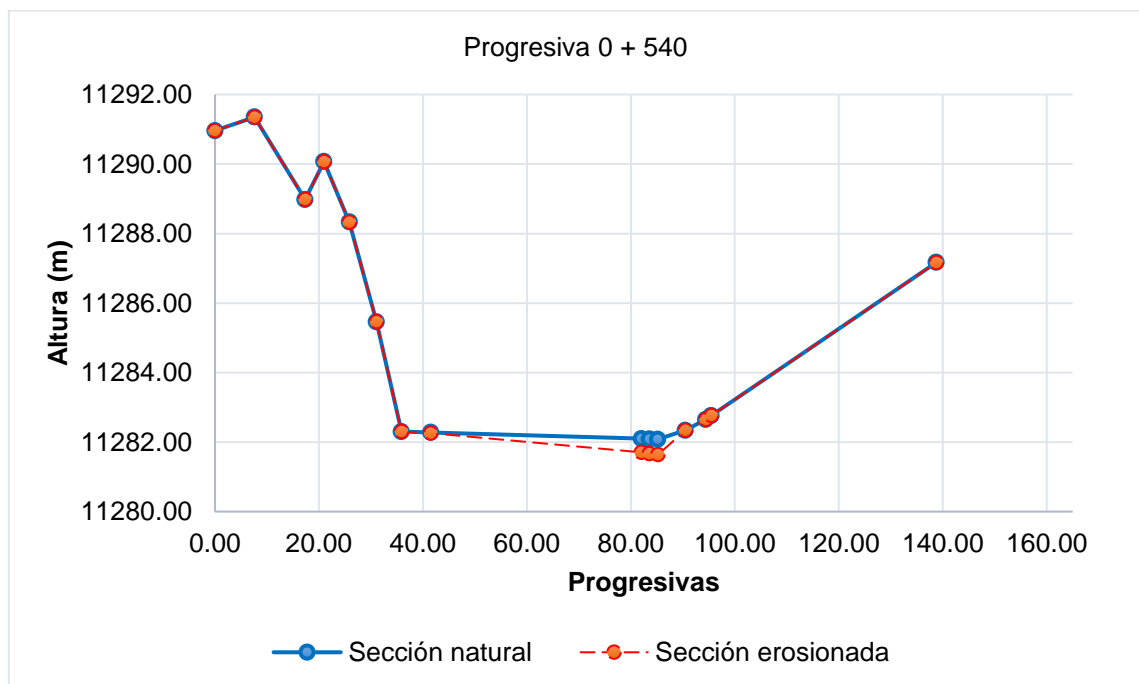


Figura 39. Erosión en la progresiva 0 + 540.

Tabla 97. Área de erosión en la progresiva 0 + 540.

Vértice	X (m)	Y (m)
1	35.86	11282.30
2	41.49	11282.28
3	82.02	11282.10
4	83.57	11282.09
5	85.20	11282.08
6	90.49	11282.34
7	90.49	11282.34
8	85.20	11281.64
9	83.57	11281.67
10	82.02	11281.71
11	41.49	11282.26
12	35.86	11282.30
1	35.86	11282.30
Sumatoria	9445931.09	9445952.88
Área (m <sup>2</sup> )		10.89

Tabla 98. Erosión en la progresiva 0 + 560.

Progresiva	560	Cota de agua (m)	11283.59	m	
X (m)	Y (m)	Tirante <sub>1</sub>	Tirante	Profundidad de socavación (m)	Nueva cota (m)
0.00	11290.29	-6.70	0.00	0.00	11290.29
1.15	11290.37	-6.78	0.00	0.00	11290.37
8.53	11288.62	-5.03	0.00	0.00	11288.62
37.25	11286.84	-3.25	0.00	0.00	11286.84
43.09	11283.38	0.21	0.21	0.39	11282.99
46.92	11283.38	0.21	0.21	0.39	11282.99
66.13	11283.39	0.20	0.20	0.37	11283.02
82.02	11285.85	-2.26	0.00	0.00	11285.85
96.45	11288.09	-4.50	0.00	0.00	11288.09
101.71	11288.35	-4.76	0.00	0.00	11288.35
115.34	11289.01	-5.42	0.00	0.00	11289.01
122.61	11289.59	-6.00	0.00	0.00	11289.59
124.82	11289.56	-5.97	0.00	0.00	11289.56
156.39	11289.01	-5.42	0.00	0.00	11289.01
158.25	11289.23	-5.64	0.00	0.00	11289.23
164.04	11288.60	-5.01	0.00	0.00	11288.60

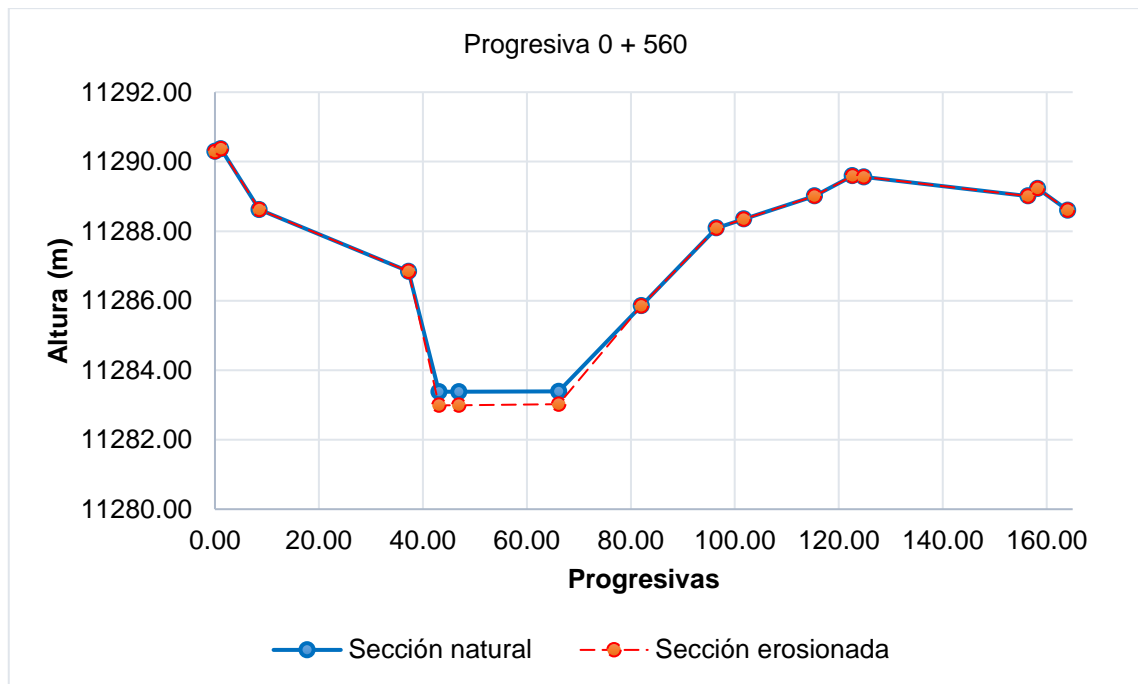


Figura 40. Erosión en la progresiva 0 + 560.  
 Tabla 99. Área de erosión en la progresiva 0 + 560.

Vértice	X (m)	Y (m)
1	37.25	11286.84
2	43.09	11283.38
3	46.92	11283.38
4	66.13	11283.39
5	82.02	11285.85
6	82.02	11285.85
7	66.13	11283.02
8	46.92	11282.99
9	43.09	11282.99
10	37.25	11286.84
1	37.25	11286.84
Sumatoria	6215908.25	6215933.82
Área (m <sup>2</sup> )		12.79

Tabla 100. Erosión en la progresiva 0 + 580.

Progresiva	580	Cota de agua (m)	11284.88	m	
X (m)	Y (m)	Tirante <sub>1</sub>	Tirante	Profundidad de socavación (m)	Nueva cota (m)
0.00	11289.70	-4.82	0.00	0.00	11289.70
29.90	11290.57	-5.69	0.00	0.00	11290.57
30.51	11290.59	-5.71	0.00	0.00	11290.59
31.26	11290.45	-5.57	0.00	0.00	11290.45
44.82	11285.31	-0.43	0.00	0.00	11285.31

50.71	11284.11	0.77	0.77	1.78	11282.33
51.84	11284.20	0.68	0.68	1.51	11282.69
82.02	11286.60	-1.72	0.00	0.00	11286.60
98.63	11287.92	-3.04	0.00	0.00	11287.92
99.74	11288.24	-3.36	0.00	0.00	11288.24
101.62	11288.77	-3.89	0.00	0.00	11288.77
112.85	11292.40	-7.52	0.00	0.00	11292.40
121.41	11292.97	-8.09	0.00	0.00	11292.97
129.51	11291.57	-6.69	0.00	0.00	11291.57
134.78	11291.54	-6.66	0.00	0.00	11291.54
164.04	11291.39	-6.51	0.00	0.00	11291.39

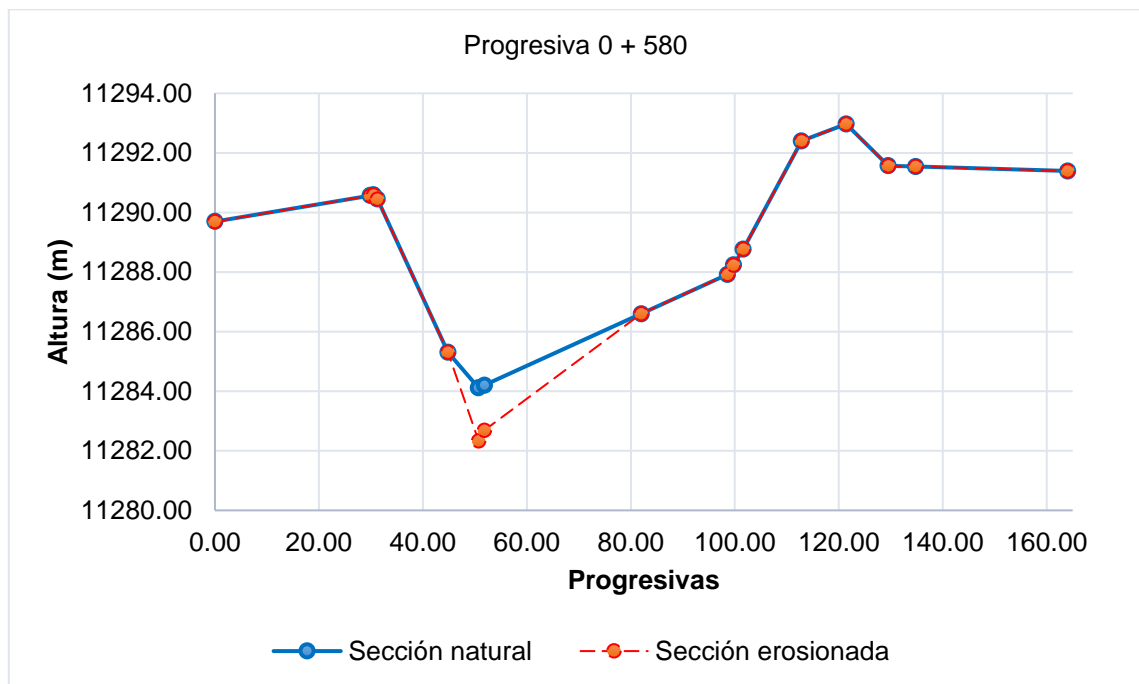


Figura 41. Erosión en la progresiva 0 + 580.  
 Tabla 101. Área de erosión en la progresiva 0 + 580.

Vértice	X (m)	Y (m)
1	44.82	11285.31
2	50.71	11284.11
3	51.84	11284.20
4	82.02	11286.60
5	82.02	11286.60
6	51.84	11282.69
7	50.71	11282.33
8	44.82	11285.31
1	44.82	11285.31
Sumatoria	5177099.90	5177159.73
Área (m <sup>2</sup> )		29.91

Tabla 102. Erosión en la progresiva 0 + 600.

Progresiva	600	Cota de agua (m)	11285.87	m	
X (m)	Y (m)	Tirante <sub>1</sub>	Tirante	Profundidad de socavación (m)	Nueva cota (m)
0.00	11293.97	-8.10	0.00	0.00	11293.97
16.75	11293.62	-7.75	0.00	0.00	11293.62
22.47	11293.98	-8.11	0.00	0.00	11293.98
32.48	11287.49	-1.62	0.00	0.00	11287.49
35.65	11285.69	0.18	0.18	0.17	11285.52
42.57	11285.52	0.35	0.35	0.40	11285.12
50.03	11285.55	0.32	0.32	0.36	11285.19
76.47	11285.67	0.20	0.20	0.19	11285.48
82.02	11287.27	-1.40	0.00	0.00	11287.27
84.48	11287.98	-2.11	0.00	0.00	11287.98
95.64	11288.53	-2.66	0.00	0.00	11288.53
102.73	11288.88	-3.01	0.00	0.00	11288.88
104.98	11289.55	-3.68	0.00	0.00	11289.55
108.72	11289.35	-3.48	0.00	0.00	11289.35
116.14	11294.50	-8.63	0.00	0.00	11294.50
120.25	11296.34	-10.47	0.00	0.00	11296.34
125.65	11296.71	-10.84	0.00	0.00	11296.71
145.75	11294.73	-8.86	0.00	0.00	11294.73
150.70	11294.13	-8.26	0.00	0.00	11294.13
151.12	11294.08	-8.21	0.00	0.00	11294.08
151.77	11294.08	-8.21	0.00	0.00	11294.08
164.04	11294.26	-8.39	0.00	0.00	11294.26

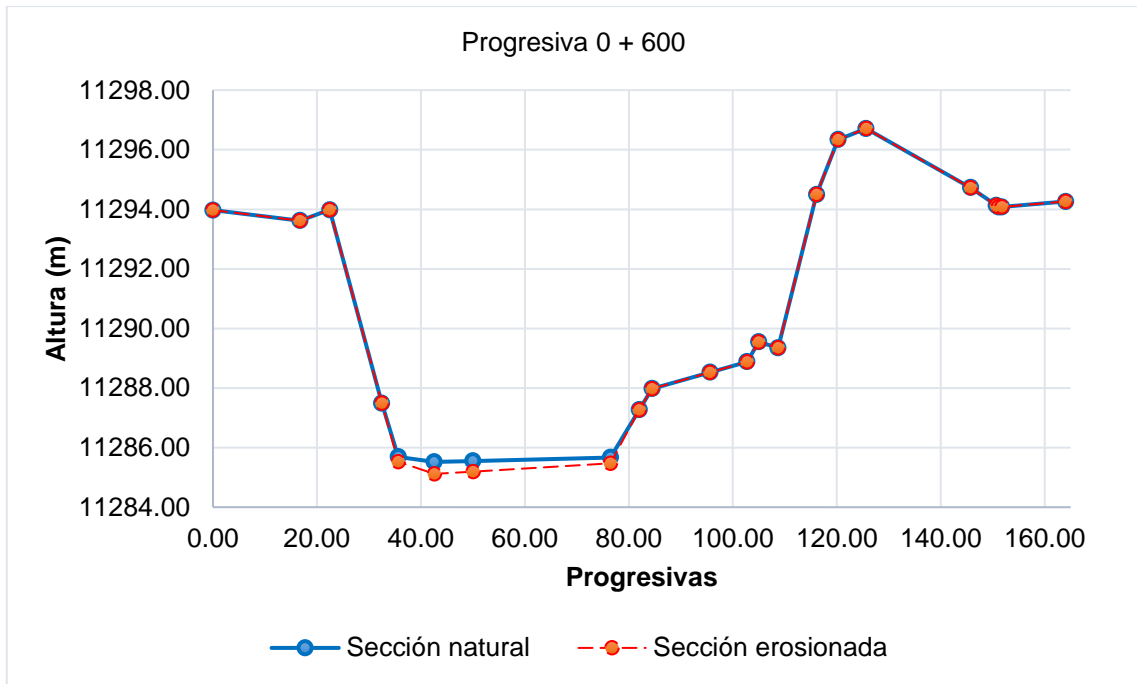


Figura 42. Erosión en la progresiva 0 + 600.  
 Tabla 103. Área de erosión en la progresiva 0 + 600.

Vértice	X (m)	Y (m)
1	32.48	11287.49
2	35.65	11285.69
3	42.57	11285.52
4	50.03	11285.55
5	76.47	11285.67
6	82.02	11287.27
7	82.02	11287.27
8	76.47	11285.48
9	50.03	11285.19
10	42.57	11285.12
11	35.65	11285.52
12	32.48	11287.49
1	32.48	11287.49
Sumatoria	7205504.77	7205530.50
Área (m <sup>2</sup> )		12.86



**ANEXO N° 04: PANEL FOTOGRÁFICO**



**FOTO N° 01: Inicio del tramo 0+000 a evaluar rio Achamayo.**



**FOTO N° 02: Se visualiza el inicio del tramo a evaluar, rio Achamayo.**



**FOTO N° 03: Vista panorámica del inicio del tramo a evaluar, río Achamayo.**



**FOTO N° 04: Vista panorámica del cauce del río Achamayo.**



**FOTO N° 05: Cauce del rio Achamayo y erosiones generadas.**



**FOTO N° 06: Cauce del rio Achamayo.**



**FOTO N° 07: Vista panorámica del cauce del rio Achamayo.**



**FOTO N° 08: Erosiones generadas en el rio Achamayo.**



**FOTO N° 09: Erosiones generadas en el rio Achamayo.**



**FOTO N° 10: Inicio de levantamiento topográfico de la sub cuenca rio Achamayo.**



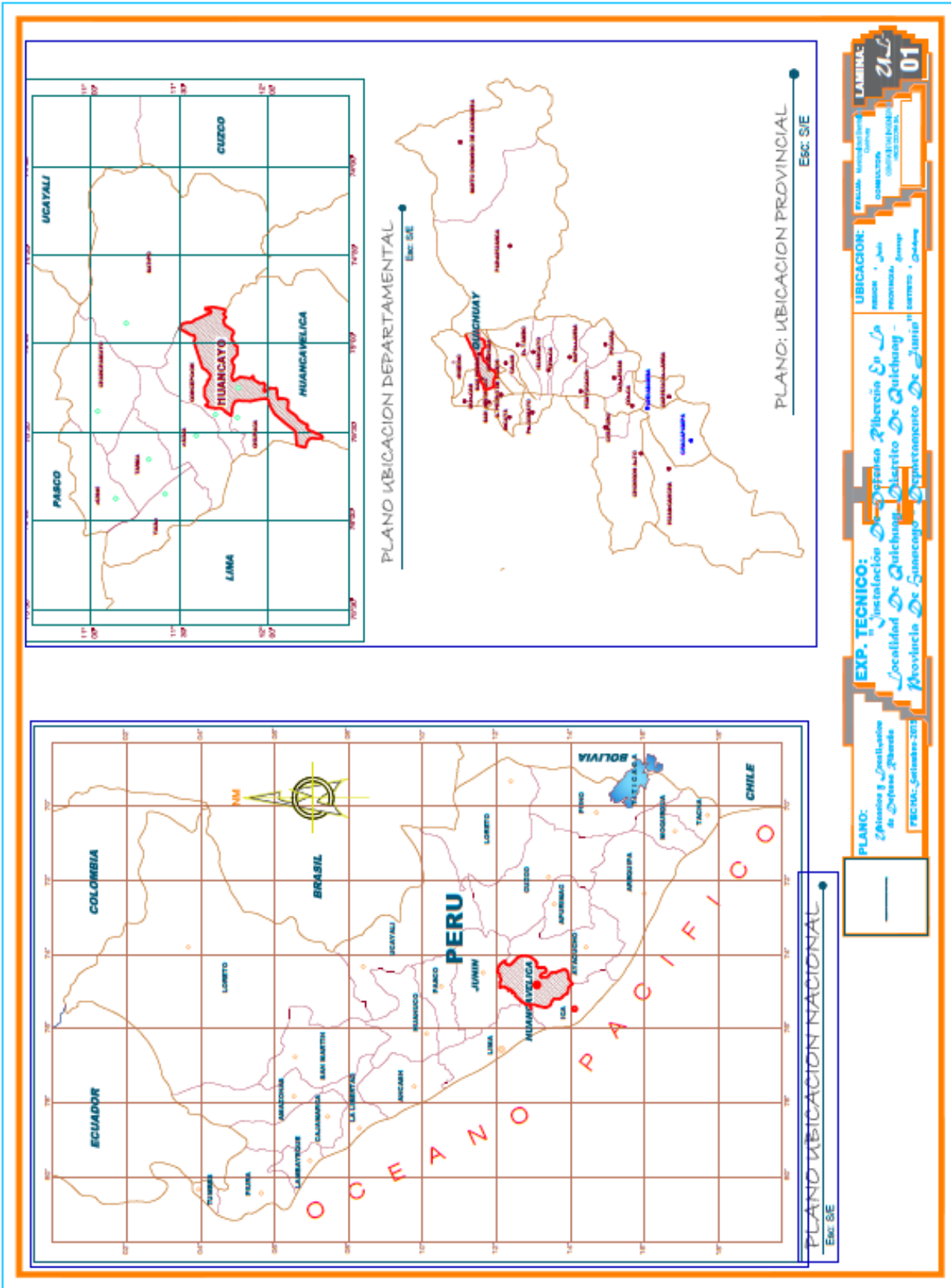
**FOTO N° 11: Levantamiento topográfico de la sub cuenca rio Achamayo.**



**FOTO N° 12: Levantamiento topográfico de la sub cuenca rio Achamayo.**

**ANEXO N° 05: PLANOS**





PLANO N° 01: Ubicación y localización.





