



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES

PROGRAMA DE ACCIONES DE MEJORAMIENTO AMBIENTAL EN LA UMA-EX-0008-MOR “VENADO COLA BLANCA Y ANIMALES SILVESTRES DE PITZOTLÁN”

JORGE PÉREZ ROJAS

**T E S I N A
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRÍA TECNOLÓGICA EN
MANEJO SUSTENTABLE DE BOSQUES**

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

2022



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

La presente tesina titulada: “Programa de acciones de mejoramiento ambiental en la UMA-EX-0008-MOR “Venado cola blanca y animales silvestres de Pitzotlán”” realizada por el estudiante: **Jorge Pérez Rojas** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRÍA TECNOLÓGICA
EN MANEJO SUSTENTABLE DE BOSQUES

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO


M.C. TANGAXUHAN LLANDERAL OCAMPO

ASESOR


DR. ARNULFO ALDRETE

ASESOR


DR. ALEJANDRO VELÁZQUEZ MARTÍNEZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, diciembre de 2022

PROGRAMA DE ACCIONES DE MEJORAMIENTO AMBIENTAL EN LA UMA-EX-0008-MOR “VENADO COLA BLANCA Y ANIMALES SILVESTRES DE PITZOTLÁN”

Jorge Pérez Rojas, M.T.
Colegio de Postgraduados, 2022

RESUMEN

El presente trabajo presenta las características actuales de la UMA EX-0008 de “Venado cola blanca y animales silvestres de Pitzotlán”, que se encuentra en el municipio de Tepalcingo, en el Estado de Morelos. Posteriormente, con ayuda de bases de datos medioambientales, imágenes de satélite y modelos digitales de elevación se determinaron las principales zonas que requerirán acciones de reforestación y obras de conservación de suelos y agua.

Las zonas para reforestación se determinaron después de realizar una fotointerpretación de la vegetación con imágenes de satélite, determinándose las zonas con menor cobertura forestal.

Se seleccionaron las especies a utilizar para reforestación con base en muestreos de campo y la determinación de índices de abundancia de las especies identificadas.

Para el caso de obras de conservación de suelos y agua se calculó el grado de erosión en la UMA (Unidad de manejo para la conservación de la vida silvestre) mediante la ecuación universal de pérdida de suelo. Adicionalmente, se determinaron los sitios de ubicación, diseños y volúmenes de la obra. Las obras propuestas incluyen: barreras de piedra acomodada, presas de piedra acomodada, presas de gaviones y presas de mampostería, debido a la alta presencia de rocas en el polígono.

Se determinaron las zonas prioritarias para realizar acciones de mejoramiento ambiental. Para determinar las obras de mejoramiento ambiental se consultó y generó información teórica, la cual se verificó en campo para corroborar la viabilidad de los datos. Se proponen algunos ajustes en función de las características particulares de la UMA, las que incluyen: los materiales disponibles, la viabilidad de construcción, acceso a los sitios de trabajo y áreas mínimas de trabajo.

Todo lo anterior se integró como una propuesta de acciones de mejoramiento ambiental en la UMA previamente mencionada.

Palabras clave: clasificación no supervisada, obras de conservación de suelo y agua, restauración forestal, unidades de manejo ambiental, USLE.

PROGRAMA DE ACCIONES DE MEJORAMIENTO AMBIENTAL EN LA UMA-EX-0008-MOR “VENADO COLA BLANCA Y ANIMALES SILVESTRES DE PIZOTLÁN”

**Jorge Pérez Rojas, M.T.
Colegio de Postgraduados, 2022**

ABSTRACT

The present work presents the current characteristics of the UMA EX-0008 of "White-tailed deer and wild animals of Pitzotlán", which is located in the municipality of Tepalcingo, in the State of Morelos. Subsequently, with the help of environmental databases, satellite images and models of digital elevation, the main areas that will require reforestation actions and soil and water conservation works were determined.

The areas for reforestation were determined after carrying out a photo-interpretation of the vegetation with satellite images, determining the areas with the least forest cover.

The species to be used for reforestation were selected based on field sampling and the determination of abundance indices of the identified species.

In the case of soil and water conservation works, the degree of erosion in the UMA was calculated using the universal soil loss equation. Additionally, the location sites, designs and volumes of the work were determined. Proposed works include: stacked stone barriers, stacked stone dams, gabion dams, and masonry dams; this due to the high presence of rocks in the polygon.

All of the above was integrated as a proposal for environmental improvement actions in the previously mentioned UMA.

Keywords: environmental management units, forest restoration, soil and water conservation structures, unsupervised classification, USLE.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados por ser un *Alma Mater* para el desarrollo de personal altamente especializado en temas agronómicos y medioambientales.

Al Campus Montecillo por la gran disposición del personal que labora en el mismo.

Al Posgrado en Ciencias Forestales, Maestría Tecnológica en Manejo Sustentable de Bosques y su equipo docente, por brindar los medios para realizar una maestría con estas características de manera no presencial; en particular al M.C. Tangaxuhan Llanderal Ocampo, por su orientación en la integración del presente documento.

A mis compañeros de trabajo M. en C. Anahí Esquivel Ramírez, Ing. José Francisco Calvillo Ramírez, Biól. Raúl Cruz Linares, Ing. Rigoberto Gil Sánchez Luna, Biól. María Isabel Flores Villamil por su valioso apoyo en el levantamiento de datos de campo, asesoría y aclaración de dudas en sus respectivas áreas de especialidad.

A los M. en C. Iván Jhesú Velázquez Castro y M. en C. Álvaro Murguía Cozar, por su asesoría en el uso de paquetes computacionales para el desarrollo de esta tesina.

DEDICATORIA

A mis padres, hermanos y familia en general; por su constante apoyo y ánimos para seguir consiguiendo objetivos académicos; en especial a mis hermanos Sara y Moisés por su constante guía y por marcar previamente la senda que uno debe caminar.

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA.....	vi
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVO GENERAL.....	3
II.1 Objetivos particulares.....	3
III. MARCO TEÓRICO	4
III.1 Uso y pérdida de la biodiversidad en México	4
III.2 Biodiversidad del estado de Morelos	5
III.2.1 Mamíferos de Morelos	6
III.3 Las Unidades de Manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA).....	7
III.4 “UMA EX-0008-Mor de “Venado cola blanca y animales silvestres de Pitzotlán”	8
III.5 Características medioambientales de la UMA EX-0008-Mor	9
III.5.1 Bosque tropical caducifolio o selva baja caducifolia	11
III.6 Clasificación no supervisada con imágenes de satélite	12
III.7 Las reforestaciones.....	13
III.8 Degradación de suelos	15
III.9 Índice de valor de importancia	15
III.10 Conservación de suelos y agua	16
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
IV.1 Áreas para reforestación	17
IV.1.1 Clasificación no supervisada	17
IV.1.1.1 Ecuación del Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada (NDVI).....	18
IV.1.2 Determinación de las áreas a reforestar.....	19
IV.1.3 Muestreo de flora.....	20

IV.1.3.1 Índice de Valor de importancia	24
IV.1.3.2. Especies a utilizar	26
IV.1.4 Trazo de la plantación	26
IV.1.5 Densidad de plantación	27
IV.1.6 Distanciamiento	27
IV.2 Áreas para obras de conservación de suelos y agua	29
IV.2.1 Cálculo de las áreas con alta erosión hídrica	29
IV.2.2 Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE)	29
IV.2.3 Cálculo de erosividad “R”	30
IV.2.4 Determinación de erosionabilidad “K”	31
IV.2.5 Cálculo de “LS”, Longitud y grado de la pendiente	31
IV.2.6 Cálculo de C (Factor de cobertura de vegetación)	32
IV.2.7 Determinación del factor P (Prácticas de conservación de suelos)	32
IV.2.8 Grado de erosión en el polígono de interés	32
IV.3 Zonas prioritarias de obras de conservación de suelos	33
IV.3.1 Determinación de las escorrentías susceptibles de obras de conservación de suelos y agua	34
IV.4 Obras de conservación de suelos y agua propuestas	35
IV.4.1 Barreras de piedra acomodada en curva a nivel	35
IV.4.2 Presas de gaviones	36
IV.4.2.1 Sitios definitivos de construcción	38
IV.4.2.2 Cálculos de estabilidad de las presas de gaviones	39
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
V.1. Clasificación no supervisada	44
V.2 Áreas a reforestar	44
V.2.1 Especies a utilizar	45
V.2.2 Trazo de la plantación	64
V.2.3 Densidad	65
V.2.4 Distanciamiento	67
V.3 Áreas para obras de conservación de suelos	67
V.3.1 Valor de R de la USLE	67

V.3.2 Valor K de la USLE.....	69
V.3.3 Valor L y S de la USLE.....	70
V.3.4 Valor C de la USLE	72
V.3.5 Erosión en la UMA por medio de la USLE.....	72
V.4 Zonas para obras de conservación de suelos	73
V.4.1 Barreras de piedra acomodada	75
V.4.2 Escorrentías para obras de conservación de suelos	78
V.4.3 Presas de gaviones	80
V.4.3.1 Ubicación de las presas de gaviones propuestas	81
VI. CONCLUSIONES.....	89
VII. LITERATURA CITADA	91
VIII. ANEXOS	94
VIII.1 Tablas de lluvia máxima para cada una de las estaciones meteorológicas que rodean a la UMA.	94
VIII.2 Cálculos de estabilidad y medidas de cada una de las presas de gaviones propuestas	108

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de la erosión por su magnitud.	33
Cuadro 2. Datos de muestreo de vegetación en la UMA (número de individuos arbóreos detectados por sitio de muestreo).	57
Cuadro 3. Determinación de índices de valor de importancia (IVI) de la vegetación muestreada.	59
Cuadro 4. Especies propuestas para la reforestación.	62
Cuadro 5. Proporción de individuos a establecer en las áreas de reforestación.	66
Cuadro 6. Ubicación de las presas de gaviones propuestas.	82
Cuadro 7. Ejemplo de medidas de la presa de gaviones 1	86
Cuadro 8. Ejemplo de resultados de los cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 1	87
Cuadro 9. Datos de lluvia máxima de la Estación El Limón.	94
Cuadro 10. Datos de lluvia máxima de la Estación la Tlacualera.	96
Cuadro 11. Datos de lluvia máxima de Estación San Pablo Hidalgo.	98
Cuadro 12. Datos de lluvia máxima de Estación Tepalcingo.	100
Cuadro 13. Datos de lluvia máxima de Estación Lagunas Rayón.	102
Cuadro 14. Datos de lluvia máxima de Estación Moyotepec.	104
Cuadro 15. Datos de lluvia máxima Estación Huautla.	106
Cuadro 16. Ejemplo de medidas de la presa de gaviones 1.	108
Cuadro 17. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 1.	109
Cuadro 18. Dimensiones de la presa de gaviones 2.	110
Cuadro 19. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 2.	111
Cuadro 20. Dimensiones de la presa de gaviones 3.	112
Cuadro 21. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 3.	113
Cuadro 22. Dimensiones de la presa de gaviones 4.	114
Cuadro 23. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 4.	115
Cuadro 24. Dimensiones de la presa de gaviones 5.	116
Cuadro 25. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 5.	117
Cuadro 26. Dimensiones de la presa de gaviones 6.	118
Cuadro 27. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 6.	119

Cuadro 28. Dimensiones de la presa de gaviones 7.....	120
Cuadro 29. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 7.....	121
Cuadro 30. Dimensiones de la presa de gaviones 8.....	122
Cuadro 31. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 8.....	123
Cuadro 32. Dimensiones de la presa de gaviones 9.....	124
Cuadro 33. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 9.....	125
Cuadro 34. Dimensiones de la PG10.....	126
Cuadro 35. Cálculos de estabilidad de la PG10.....	127
Cuadro 36. Dimensiones de la presa de gaviones 11.....	128
Cuadro 37. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 11.....	129
Cuadro 38. Dimensiones de la presa de gaviones 12.....	130
Cuadro 39. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 12.....	131
Cuadro 40. Dimensiones de la presa de gaviones 13.....	132
Cuadro 41. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 13.....	133
Cuadro 42. Dimensiones de la presa de gaviones 14.....	134
Cuadro 43. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 14.....	135
Cuadro 44. Dimensiones de la presa de gaviones 15.....	136
Cuadro 45. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 15.....	137
Cuadro 46. Dimensiones de la presa de gaviones 16.....	138
Cuadro 47. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 16.....	139
Cuadro 48. Dimensiones de la presa de gaviones 17.....	140
Cuadro 49. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 17.....	141
Cuadro 50. Dimensiones de la presa de gaviones 18.....	142
Cuadro 51. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 18.....	143
Cuadro 52. Dimensiones de la presa de gaviones 19.....	144
Cuadro 53. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 19.....	145
Cuadro 54. Dimensiones de la presa de gaviones 20.....	146
Cuadro 55. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 20.....	147
Cuadro 56. Dimensiones de la presa de gaviones 21.....	148
Cuadro 57. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 21.....	149
Cuadro 58. Dimensiones de la presa de gaviones 22.....	150

Cuadro 59. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 22.....	151
Cuadro 60. Dimensiones de la presa de gaviones 23.....	152
Cuadro 61. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 23.....	153
Cuadro 62. Dimensiones de la presa da gaviones 24.....	154
Cuadro 63. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 24.....	155
Cuadro 64. Dimensiones de la presa de gaviones 25.....	156
Cuadro 65. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 25.....	157
Cuadro 66. Dimensiones de la presa de gaviones 26.....	158
Cuadro 67. Cálculos de estabilidad de la PG26.....	159
Cuadro 68. Dimensiones de la presa de gaviones 27.....	160
Cuadro 69. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 27.....	161
Cuadro 70. Dimensiones de la presa de gaviones 28.....	162
Cuadro 71. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 28.....	163
Cuadro 72. Dimensiones de la presa de gaviones 29.....	164
Cuadro 73. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 29.....	165
Cuadro 74. Dimensiones de la presa de gaviones 30.....	166
Cuadro 75. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 30.....	167
Cuadro 76. Dimensiones de la presa de gaviones 31.....	168
Cuadro 77. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 31.....	169
Cuadro 78. Dimensiones de la presa de gaviones 32.....	170
Cuadro 79. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 32.....	171
Cuadro 80. Dimensiones de la presa de gaviones 33.....	172
Cuadro 81. Cálculos de estabilidad de la PG33.....	173
Cuadro 82. Dimensiones de la presa de gaviones 34.....	174
Cuadro 83. Cálculos de estabilidad de la PG34.....	175

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fauna encontrada en la UMA durante los trabajos de campo. Lado izquierdo superior <i>Procyon lotor</i> (mapache), lado derecho superior <i>Boa sigma</i> (Mazacuate), parte inferior <i>Odocoileus virginianus</i> (venado cola blanca).....	7
Figura 2. Ubicación de la UMA con respecto al estado de Morelos y al Municipio de Tepalcingo.....	9
Figura 3. Tipos de clima presentes en la UMA de acuerdo a CONABIO, 2008.	10
Figura 4. Imágenes de las condiciones de la selva baja caducifolia de la UMA en época de lluvias y en época de secas.	11
Figura 5. Zonas de buena cobertura forestal en la UMA.....	19
Figura 6. Claros o zonas de baja cobertura forestal en la UMA.	20
Figura 7. Sitios de muestreo de flora dentro del polígono de la UMA. La clasificación de vegetación es de acuerdo a la serie VI uso de suelo y vegetación de INEGI. Ta: Agricultura de temporal, VSA: Vegetación Secundaria Arbórea de Selva Baja Caducifolia, VSa: Vegetación Secundaria arbustiva de Selva Baja Caducifolia	21
Figura 8. Ejemplo de hipsómetro utilizado para determinar altura de los árboles.	22
Figura 9. Ejemplo de forcípula utilizada para determinar diámetro de los árboles.	22
Figura 10. Determinación del radio de las unidades de muestreo. El radio de los sitios de muestreo fue de 17.85 m ² , primeramente, se partía de la definición de dicho radio y posteriormente identificar todos los individuos arbóreos que entraban dentro de la circunferencia.	23
Figura 11. Medición de altura de especies de <i>Opuntia</i> sp. Para todos los sitios se midió DAP, siempre y cuando superara los 7.5 cm, altura y se identificó la especie.	23
Figura 12. Marcado e identificación de árboles de sitio de muestreo Para todos los sitios se marcaron los árboles considerados en caso de que se requiriera hacer un segundo levantamiento de datos para cotejo.	24
Figura 13. Fórmula de cálculo de distanciamiento entre plantas en trazado marco real Fuente: (CONAFOR, 2010)	28

Figura 14. Fórmula de cálculo de distanciamiento entre plantas en trazado marco real Fuente: (CONAFOR, 2010)	28
Figura 15. Normales climatológicas circundantes y valores de Precipitación Media Anual (PMA) en los alrededores del polígono de la UMA.	30
Figura 16. Seccionamiento de cauces. El seccionamiento se realizó a cada metro en cauces amplios y cada 0.5 m en cauces muy angostos.....	37
Figura 17. Toma de datos de campo con equipo GPS para su cotejo en gabinete.	37
Figura 18. Ejemplo de dibujo de una de las secciones de los cauces donde pretende colocar una presa de gaviones. En color verde se distingue el dibujo del cauce seccionado.....	38
Figura 19. Ejemplo del diseño final de una presa de gaviones. En verde se distingue el cauce seccionado, en blanco el diseño de los tendidos de la presa y en amarillo las dimensiones de la misma.	43
Figura 20. Clasificación de la cobertura vegetal en el polígono de la UMA (Datos no publicados). En amarillo se muestran las zonas con baja densidad o cobertura vegetal en función de la reflectancia detectada por el satélite.	44
Figura 21. Áreas definitivas propuestas para trabajos de reforestación (verde). Se consideran aquellas superiores a 1 ha en superficie y se excluyen las que a pesar de tener baja cobertura cuentan con trabajos recientes de reforestación.....	45
Figura 22. Pendiente del terreno expresada en porcentaje dentro de la UMA. Determinada a partir de datos de Modelo Digital de Elevación de INEGI con resolución de 15 m.	64
Figura 23. Tipos de trazados para la planta de reforestación. Determinados a partir de directrices de CONAFOR. En rojo el trazado tres bolillo y en verde el marco real.	65
Figura 24. Interpolación de los valores de PMA. Elaborado a partir de datos de las Normales climatológicas de CONAGUA con datos 1950 – 2010.	68
Figura 25. Valores de Coeficiente “R” obtenidos a partir de datos de ecuaciones de Cortes (1991).	69

Figura 26. Valores de coeficiente “K” determinados. Guiado por datos de WRB y Becerra (1999).	70
Figura 27. Valores de coeficiente “L” obtenidos. Elaborado a partir de datos del Modelo Digital de Elevación de INEGI con resolución de 15 m.....	71
Figura 28. Valores de coeficiente “S” determinados. Elaborado a partir de datos del Modelo Digital de Elevación de INEGI con resolución de 15 m.....	71
Figura 29. Valores de coeficiente “C” determinados. Elaboración a partir de datos de Uso de suelo y vegetación serie VI de INEGI y (Montes, et al., 2011).	72
Figura 30. Erosión estimada en el polígono de la UMA. Clasificado de acuerdo a lo propuesto por Montes et al. (2011).	73
Figura 31. Clasificación de zonas potenciales para realizar obras de conservación de suelos y agua dentro del polígono de la UMA. Reagrupado tomando algunos criterios de Montes et al., (2011).....	74
Figura 32. Áreas definitivas propuestas para obras de conservación de suelos y agua.	75
Figura 33. Barreras de piedra acomodada determinadas para la UMA. Intervalo horizontal de 12.51 m y intervalo vertical de 3.24 m.	76
Figura 34. Ubicación de las barreras de piedra acomoda ajustadas. Intervalo horizontal de 50.04 m y intervalo vertical de 12.96 m.	77
Figura 35. Escorrentías calculadas al interior del polígono de la UMA, en diferentes colores se representa el orden jerárquico de cada una. Determinados a partir de MDE de INEGI con resolución de 15 m.....	78
Figura 36. Microcuencas calculadas al interior del polígono de la UMA, cada color representa una distinta.	79
Figura 37. Microcuencas de interés con área superior a 5 ha.....	79
Figura 38. Secciones de escorrentías propuestas para obras de conservación de suelos y agua.	80
Figura 39. Sitios definitivos propuestos para construcción de presas de gaviones. Se puede apreciar adicionalmente, el orden del cauce en el que se encuentran.	83

Figura 40. Microcuencas de captación de los sitios para presas de gaviones, calculadas en ArcGIS con ayuda del Modelo Digital de Elevación.....	84
Figura 41. Interpolación de datos de lluvia máxima en 24 h. Elaboración a partir de datos de Normales climatológicas de CONAGUA.....	85
Figura 42. Isoyetas de lluvia máxima en 24 h para la UMA. Calculadas a partir de datos de normales climatológicas de CONAGUA 1950 – 2010.....	85

I. INTRODUCCIÓN

Las principales problemáticas que enfrentan los ecosistemas terrestres mexicanos son la deforestación y la degradación. Ambos fenómenos implican una reducción de la cubierta vegetal, lo que ocasiona problemas como modificaciones en los ciclos hidrológicos y cambios regionales en los regímenes de temperatura y precipitación (CONAFOR, 2009).

Es a través de estos dos procesos, al ser los más fácilmente identificables de manera visual, que logramos determinar rápidamente las zonas y dimensiones de daño al medioambiente.

Prieto y Goche (2016) mencionan que: “En la búsqueda por revertir los procesos de deforestación y pérdida de los ecosistemas forestales, las obras de conservación de suelo y agua, así como la reforestación son las prácticas más utilizadas a nivel mundial”.

Asimismo, la conservación, restauración y manejo sustentable de los bosques permiten mantener la biodiversidad, evitan la extinción de especies, disminuyen la alteración de ciclos hidrológicos y generan bienes y servicios ambientales (CONAFOR, 2010; Prieto y Goche, 2016).

En diversos estudios se han realizado mediciones de la superficie nacional con degradación del suelo. La más reciente muestra que el 44.9% (alrededor de 85.7 millones de hectáreas) de los suelos del país muestran algún tipo de degradación en diferentes niveles, que van de ligera a extrema, y el 55.1% (105.2 millones de hectáreas) del territorio nacional cuenta con suelos sin degradación aparente (SEMARNAT, 2008; CONAFOR, 2018).

Las obras de conservación de suelo y agua tienen entre sus objetivos reducir la velocidad de los escurrimientos hídricos, retener sedimentos, impedir la formación de cárcavas e infiltrar y aumentar la disponibilidad de agua para las plantas. El presente trabajo se realizó, entre otros, con el fin de determinar las obras de conservación de suelos y agua que son necesarias de aplicar en una UMA.

Las unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA) son espacios destinados a la conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. Como se menciona en CONABIO y UAEM (2006), dicho esquema genera recursos en zonas marginales, pero para un mayor impacto, requiere, entre otros, de fortalecer el inventario de especies y de los aprovechamientos, apoyo para manejo y restauración del hábitat, e incentivos para la producción y para la investigación.

Este documento aborda parte de estos puntos ya que se centra en el conocimiento actual del estado de conservación de la UMA EX-0008 de “Venado cola blanca y animales silvestres de Pitzotlán”, particularmente en el referente al componente vegetal y al componente suelo.

Una vez conocido el estado de dichos componentes, se proponen realizar acciones de reforestación y obras de conservación de suelo y agua en zonas altamente prioritarias para con ello mejorar las condiciones medioambientales en toda la UMA, lo que repercutirá en una menor erosión, mayor infiltración de agua y mayor disponibilidad de alimento para las especies de fauna presentes en la misma y, quizás, incrementará el tamaño de las poblaciones y las tasas de aprovechamiento de las mismas, aumentando los ingresos de la población local.

II. OBJETIVO GENERAL

Identificar las zonas prioritarias que requieren acciones de mejoramiento ambiental en la UMA EX-0008 “Venado cola blanca y animales silvestres de Pitzotlán”, mediante el análisis de bases de datos espaciales, clasificación no supervisada de imágenes y cálculo del grado de erosión del suelo.

II.1 Objetivos particulares

Determinar el estado actual de la cobertura vegetal y grado de erosión en el polígono de la UMA.

Identificar las zonas a reforestar, determinar especies vegetales para la reforestación y establecer la metodología para la ejecución de la misma.

Establecer las zonas prioritarias para la construcción de obras de conservación de suelos, así como el tipo de obras a aplicar, su diseño y volúmenes de construcción.

III. MARCO TEÓRICO

III.1 Uso y pérdida de la biodiversidad en México

Las estimaciones más recientes indican que México conserva solo cerca de 50% de su cobertura de vegetación natural (en condición primaria). Sumado a esto, la sobreexplotación de especies de interés alimentario o económico, por la caza y la recolección masiva, así como el tráfico ilegal de especies exacerba el efecto nocivo que la disminución del hábitat tiene sobre las especies. Hasta el presente, se sabe con certeza que en el país se han perdido 127 especies, de las que 74 (58.2%) eran endémicas, lo cual significa que estas 74 especies se han extinguido del planeta. Las extinciones más importantes han ocurrido en vertebrados de sistemas insulares y lagunas continentales, sobre todo del grupo de los anfibios, en el que el total de las extinciones corresponde a especies endémicas de México. La mayoría de las aves se han perdido de las islas del Pacífico y en el caso de los peces, de las aguas continentales. De las plantas extintas solo 5% son endémicas de México (Sarukhán *et al.*, 2009).

Además, de la superficie con cobertura vegetal, que es de 141.8 millones de hectáreas, cerca de 66 millones corresponden a bosques y selvas, de las cuales 21.6 millones tienen potencial forestal maderable. De éstas, en los últimos 15 años, solamente alrededor de 8 millones de hectáreas han estado bajo manejo y producido en promedio 7.53 millones de metros cúbicos anuales de madera (principalmente de pinos), volumen insuficiente para abastecer la demanda interna (Sarukhán *et al.*, 2009).

Se considera que no solo no se está utilizando ni la mitad del potencial forestal maderable, sino que se están perdiendo los árboles, sin aprovechar ese potencial debido a las altas tasas de deforestación que ocasiona el cambio de uso del suelo. Más aun, en las áreas que se deforestan para destinarlas a fines agropecuarios ni siquiera se utiliza la madera de los árboles talados al desforestar (Sarukhán *et al.*, 2009).

Por otro lado, México ocupa el primer lugar del mundo en el manejo comunitario de bosques certificados como sustentables, tanto en zonas templadas como tropicales. El país cuenta con una superficie certificada de 849,000 hectáreas y una producción, también certificada, de 1.23 millones de metros cúbicos de madera, que equivalen a 10%

de la superficie forestal maderable y a 15% de la producción maderable del país, respectivamente. Este es un modelo de manejo racional de recursos con beneficios económicos y sociales innegables que indudablemente debiera ser estimulado en México, adaptándolo a las diferentes circunstancias ecológicas, sociales y organizativas de las comunidades dueñas de los bosques (Sarukhán *et al.*, 2009).

III.2 Biodiversidad del estado de Morelos

En Morelos se reconocen en la actualidad el 21% de las especies de mamíferos, el 33% de las especies de aves, el 14% de las especies de reptiles y el 10% de las especies de plantas vasculares reportadas para el país; por lo cual se ubica en el lugar 17, respecto a otros estados, en cuanto a riqueza de especies y además se encuentra entre los nueve estados con alto endemismo de flora. Se tienen registradas 3,845 especies de plantas, incluyendo algas, musgos, hepáticas, helechos y fanerógamas, así como 480 de hongos (CONABIO y UAEM, 2006).

Respecto a la fauna del estado de Morelos está representada por 3,622 especies entre invertebrados y vertebrados. Dentro del grupo de los invertebrados, los insectos comprenden el 94% de este grupo taxonómico, mientras que a nivel general los insectos agrupan al 78% de todas las especies de fauna registradas en el Estado. En el caso de los vertebrados, se han registrado en esta entidad aproximadamente 600 especies; de las que el grupo más representativo corresponde a las aves, quienes comprenden el 62% de los vertebrados al nivel estatal (CONABIO y UAEM, 2006).

Con relación a su diversidad a nivel de ecosistemas, Morelos presenta tres zonas ecológicas (Norte, Sur y centro) La zona de estudio en cuestión se encuentra en la zona sur. La zona sur está conformada por doce municipios y cuenta con una población de 329 717 habitantes, la que representa el 21.2% de la población del Estado. En esta región se localiza el macizo de selva baja caducifolia más importante de la entidad, que incluye la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, y en ella se integra la mayor concentración de biodiversidad de Morelos. En esta zona confluyen los escurrimientos de seis microcuencas en el subsistema Amacuzac, que forma parte de la gran Cuenca del Balsas (CONABIO y UAEM, 2006).

En cuanto a su problemática, esta zona presenta un desarrollo agrícola y pecuario intensivo, con un notable cambio de uso de suelo de agrícola a urbano, además, en esta región se ubican las zonas más marginadas del Estado y hay escasez de agua. Con respecto a los tipos de vegetación, se presentan en el estado de Morelos siete: bosque de coníferas, bosque de *Quercus*, bosque mesófilo de montaña, bosque tropical caducifolio, pastizal y zacatonal, bosque de galería y vegetación acuática (CONABIO y UAEM, 2006).

III.2.1 Mamíferos de Morelos

La mayoría de las especies de mamíferos de esta entidad corresponden al Orden Chiroptera (murciélagos) y Rodentia (roedores), que juntos integran el 74% de la mastofauna estatal. De las 47 especies de quirópteros presentes en Morelos, 29 son de hábitos insectívoros, ocho se alimentan de frutos, nueve son nectarívoros y sólo una especie es de hábitos hematófagos. El grupo de mamíferos con menor representación para la entidad es el orden Artiodactyla con una sola especie, *Odocoileus virginianus* (venado cola blanca), herbívoro cuya presencia actualmente se circunscribe a las regiones montañosas del norte y sur del Estado (CONABIO y UAEM, 2006). En la 0, se puede ver un ejemplo del mismo, fotografiado durante los trabajos de campo.



Figura 1. Fauna encontrada en la UMA durante los trabajos de campo. Lado izquierdo superior *Procyon lotor* (mapache), lado derecho superior *Boa sigma* (Mazacuate), parte inferior *Odocoileus virginianus* (venado cola blanca).

III.3 Las Unidades de Manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA)

Las Unidades para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de la Vida Silvestre (UMA) son los criaderos extensivos e intensivos de Fauna Silvestre, los viveros e invernaderos, así como todas las alternativas viables que permitan la propagación de especies y la elaboración de productos y subproductos que puedan ser incorporados al mercado legal de Vida Silvestre. Estas UMA son todos los predios e instalaciones que operan de conformidad a un plan de manejo aprobado, y dentro de los cuales se da

seguimiento y permanecen en estado de hábitat y de poblaciones o ejemplares que allí se encuentran. (CONAFOR, 2009).

Con las UMA, se busca promover esquemas alternativos de producción compatibles con el cuidado del ambiente, a través del uso racional, ordenado y planificado de los recursos naturales, frenando o revirtiendo los procesos de deterioro ambiental. Se trata de crear oportunidades de aprovechamiento que son complementarias de otras actividades productivas convencionales, como la agricultura o la ganadería. Esto es, impulsar el desarrollo de fuentes alternativas de ingreso para las comunidades rurales, dando valor a la diversidad biológica para propiciar su conservación en todo el territorio nacional. Es necesario el manejo, en cada unidad, a través de un plan autorizado y registrado, que permita obtener los beneficios derivados de las actividades productivas y garantice la viabilidad de las poblaciones de cada especie que ahí se distribuye. Estos beneficios contribuyen a solventar los gastos de operación, y son reinvertidos en programas de conservación, monitoreo e investigación, con lo que se asegura la permanencia del capital natural (CONAFOR, 2009).

La protección y aprovechamiento de especies de fauna silvestre a través de las UMA ha demostrado ser una alternativa para fomentar la restauración de especies de interés cinegético o comercial, que genera beneficios en zonas marginales del Estado. Sin embargo, para que las UMA tengan un mayor impacto positivo en las comunidades rurales y en las especies silvestres se requiere fortalecer los siguientes aspectos: inventarios de especies y de los aprovechamientos, reparto equitativo de los beneficios, apoyo para manejo y restauración de hábitat, cultura a los cazadores, incentivos para la producción, para el ecoturismo, para comercialización de productos y para investigación (CONABIO y UAEM, 2006).

III.4 “UMA EX-0008-Mor de “Venado cola blanca y animales silvestres de Pitzotlán”

De acuerdo a CONABIO y UAEM (2006), la UMA-EX-0008-Mor se registró en el año 2002 con una superficie de 1694.00 ha y con aprovechamiento de venado cola blanca. Adicionalmente, se tienen autorizadas en total 5 especies, de las cuales 4 se utilizan para cacería deportiva y una para consumo interno. La UMA se encuentra en el Municipio de

Tepalcingo, en el estado de Morelos. En la 0, se puede apreciar un mapa de macro y microlocalización de la UMA con respecto al estado de Morelos y municipio de Tepalcingo.

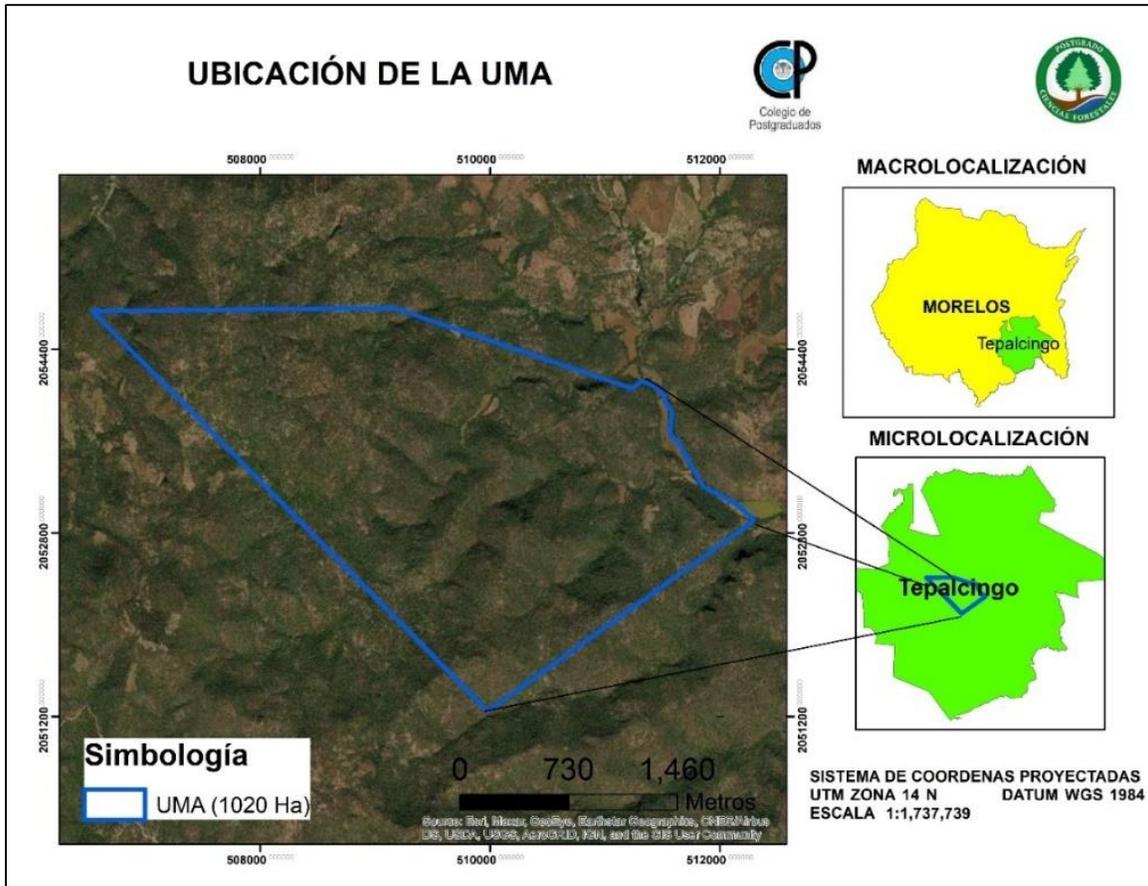


Figura 2. Ubicación de la UMA con respecto al estado de Morelos y al Municipio de Tepalcingo.

III.5 Características medioambientales de la UMA EX-0008-Mor

La UMA EX008-Mor presenta un tipo de vegetación de selva baja caducifolia y, de acuerdo a datos de CONABIO, se presentan dos tipos de clima los cuales son: (A)C(w1) y Awo, como se muestra en la 0, se pueden apreciar los tipos de climas presentes en el polígono de la UMA.

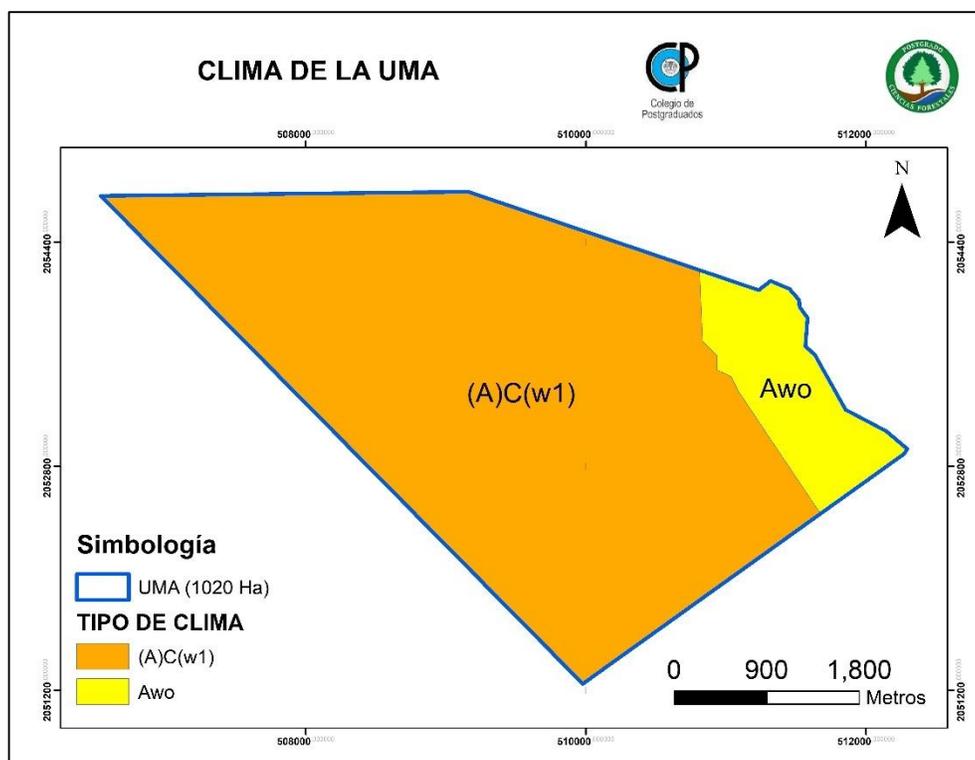


Figura 3. Tipos de clima presentes en la UMA de acuerdo a CONABIO, 2008.

El clima (A)C(w1) es un tipo de clima semicálido subhúmedo del grupo C, con una temperatura media anual mayor de 18° C, temperatura del mes más frío menor de 18° C y temperatura del mes más caliente mayor de 2° C.

El clima Awo es tipo de clima cálido subhúmedo, con temperatura media anual mayor de 22° C y temperatura del mes más frío mayor de 18° C.

De acuerdo a datos de INEGI 2007, la precipitación en la zona oscila de 800 a 1200 mm anuales, con una media de 1000 mm. No existe ninguna estación climatológica que se encuentre dentro del polígono de la UMA. En la 0, se pueden apreciar fotografías de las condiciones en temporada de lluvias y de secas en la UMA.



Figura 4. Imágenes de las condiciones de la selva baja caducifolia de la UMA en época de lluvias y en época de secas.

III.5.1 Bosque tropical caducifolio o selva baja caducifolia

Este tipo de vegetación se caracteriza porque sus árboles pierden las hojas casi por completo durante el periodo de sequía, comprendido entre diciembre y junio, y producen su follaje y su floración en la temporada de lluvias. Este bosque presenta tres estratos arbóreos o pisos de vegetación, que varían desde 4 hasta 16 metros de alto, aunque la mayor proporción de individuos arbóreos se concentra en alturas de alrededor de 6 metros. Su composición arbórea es diversa y presenta variaciones, según el tipo de roca y suelo donde se desarrolla este tipo de vegetación. En terrenos con roca caliza y suelos

de rendzina, las especies arbóreas dominantes son *Conzattia multiflora*, *Amphipterygium adstringens*, *Ipomoea wolcottiana*, *Lysiloma divaricatum*, *Ceiba parvifolia*, *Wimmeria persicifolia*, *Bursera ariensis*, *Lysiloma tergemina*, *Bursera copallifera*, *B. glabrifolia*, *B. bipinnata*, *B. longipes* y *B. morelensis*. En áreas con rocas ígneas y suelos de tipo feozem se llegan a encontrar las especies antes citadas, pero con diferente grado de abundancia, además, en estas condiciones ecológicas se incorporan otras especies importantes como: *Lysiloma acapulcense*, *Heliocarpus therebintinaceus*, *Haematoxylon brassiletto* y *Pseudosmodingium perniciosum*. En terrenos donde predominan las rocas clasificadas como lutitas y areniscas con suelos de tipo castañozem se distribuyen con mayor abundancia las siguientes especies: *Neobouxbamia mezcalensis*, *Bursera ariensis*, *B. morelensis*, *B. grandifolia*, *Wimmeria persicifolia*, *Cyrtocarpa procera*, *Lysiloma tergemina*, *L. divaricatum* y *Ceiba parvifolia*, de las cuales la primera sobresale en abundancia de forma notable (Boyás, 1992; CONABIO y UAEM, 2006).

III.6 Clasificación no supervisada con imágenes de satélite

Se define la clasificación no-supervisada (CNS) como un proceso de agrupación de píxeles con valores digitales similares para todas las bandas. Cada una de estas agrupaciones son llamadas clases espectrales, las cuales se supone corresponden a un tipo de cubierta de terreno. Los métodos usados para desarrollar esta clasificación son del tipo agrupamiento (del inglés *clustering*). La aplicación de esta clasificación opera como una búsqueda automática de grupos de valores homogéneos dentro de las imágenes, pero pueden ocurrir varias posibilidades: que una categoría esté expresada en varias clases espectrales, que dos o más categorías compartan una sola clase espectral, que varias categorías compartan clases espectrales y la ideal, que haya una correspondencia biunívoca entre las clases espectrales y las categorías. Esto será la base para el agrupamiento (Arango *et al.*, 2005).

Es importante señalar que el analista debe indicar cuál es el significado temático de las clases espectrales generadas, puesto que el programa no lo detecta y puede establecer categorías de poco interés para el proyecto. Entre los algoritmos más conocidos se destacan ISODATA y K-means (Acosta, 2017).

Los métodos no supervisados de clasificación digital de coberturas de suelo tienen como principal ventaja el reconocimiento de patrones espectrales de manera autónoma e interactiva, sin sujetarse a un estricto conocimiento del sitio de estudio y permitiendo concentrar la tarea humana en la interpretación más que en la consecución de los resultados (Chuvienco, 2002).

Las fuentes de datos para la clasificación digital de imágenes son diversas, pero entre ellas se destacan las imágenes satelitales de la serie Landsat (National Aeronautics and Space Administration NASA, 1998), cuyos objetivos han sido cartografiar y evaluar los recursos naturales. El último satélite de esa serie es el LANDSAT ETM+ con ocho bandas, lo cual da especial importancia debido a que una de las limitantes para el funcionamiento eficiente de un clasificador no supervisado es la presencia de una baja diferenciación espectral entre clases, aunque por otro lado aumenta la complejidad de los datos (Arango *et al.*, 2005).

El sistema de captura de una imagen en estos sistemas óptico-electrónicos consiste en un sensor que explora la superficie terrestre adquiriendo la radiación emitida y reflejada de los objetos situados sobre ella. Esta energía que capta el sensor está definida por el valor numérico o Nivel Digital (ND), que codifica digitalmente esta radiancia, para una parcela de terreno y en una banda específica, en 8 bits (0 a 255) para el caso de las imágenes LANDSAT. La colección de todos estos datos se constituye en un arreglo matricial que tiene una unidad mínima de observación (parcela) denominada píxel (Picture Element de su sigla en inglés) con un número entero (ND) que puede convertirse en una intensidad luminosa o nivel de gris y con una localización espacial (Arango *et al.*, 2005).

III.7 Las reforestaciones

Uno de los grandes desafíos para México es conservar la extensión de sus bosques, selvas, humedales y zonas áridas y, más aún, tratar de recuperar superficies forestales que se han perdido o degradado (CONAFOR, 2009).

En la búsqueda por revertir los procesos de deforestación y pérdida de los ecosistemas forestales, las obras de conservación de suelo y agua, así como la reforestación son las

prácticas más utilizadas nivel mundial. En México se tienen registros de estas acciones desde la época de la preconquista, con trabajos desarrollados por el Rey Nezahualcóyotl, a quien se le atribuye haber instruido la plantación de miles de ahuehuetes (*Taxodium mucronatum*). Se cree que junto con Moctezuma II, establecieron los ahuehuetes más antiguos, presentes aún en el Bosque de Chapultepec (Bello-Lara, 2000; Prieto y Goche, 2016).

En la legislación mexicana, y en las prácticas de manejo ejecutadas por la política pública, se confunden los términos plantación, reforestación y restauración como si fueran sinónimos, cuando en realidad no lo son. Reforestación consiste en establecer árboles, y al tener el prefijo “re”, se supone que deben ser árboles de las mismas especies a los que existían antes de que fuera necesaria dicha acción. Como se puede apreciar dichos términos no son sinónimos. Es posible restaurar ecosistemas en los que la forma dominante de crecimiento vegetal no es la arbórea, por lo que sería ridículo hablar de reforestación (Sánchez *et al.*, 2005).

La planeación de la reforestación requiere que se consideren factores ecológicos, económicos y sociales, que se cuente con las herramientas técnicas apropiadas y con la capacidad para desarrollarlas. El manejo adecuado requiere, antes que nada, que se defina el uso (y la intensidad del mismo) al que se va a someter al ecosistema que se pretende manejar. Es de gran importancia que se reconozca que algunos usos pueden ser incompatibles con las condiciones de perturbación del sitio. (Lee, 2001).

En un extremo, en sitios bien conservados que representan ecosistemas frágiles que deben ser protegidos (ya sea por su rareza, importancia biológica, la presencia de especies en peligro de extinción o porque su conservación esté contemplada en la legislación), algunos usos serán completamente incompatibles con la conservación, particularmente aquellos que impliquen modificaciones que se alejen considerablemente del régimen natural de perturbación del sistema y que, por lo tanto, impidan un manejo sostenible del mismo (Lee, 2001).

III.8 Degradación de suelos

Entre los principales procesos de degradación que presenta el suelo están la reducción de la estructura del suelo (rompimiento de los macro agregados), la pérdida en la capacidad de amortiguamiento del suelo, la pérdida de su contenido de materia orgánica (MOS) y de nutrientes del suelo, la pérdida de la diversidad de microorganismos, la compactación del suelo y el incremento de la erosión hídrica. (Sánchez *et al.*, 2005). Estos procesos de degradación son los que normalmente se pretenden reducir mediante acciones de mejoramiento ambiental y restauración ecológica.

III.9 Índice de valor de importancia

De acuerdo a Magurran (1988) el análisis del valor de importancia de las especies cobra sentido si recordamos que el objetivo de medir la diversidad biológica es, además de aportar conocimientos a la teoría ecológica, contar con parámetros que nos permitan tomar decisiones o emitir recomendaciones en favor de la conservación de áreas amenazadas, o monitorear el efecto de las perturbaciones en el ambiente. Medir la abundancia relativa de cada especie permite identificar aquellas especies que por su escasa representatividad en la comunidad son más sensibles a las perturbaciones ambientales.

El índice de valor de importancia es un parámetro que mide el valor de las especies. Este valor revela la importancia ecológica relativa de cada especie en una comunidad vegetal, típicamente, con base en tres parámetros principales: dominancia (ya sea en forma de cobertura o área basal), densidad y frecuencia. El índice de valor de importancia (I.V.I.) es la suma de estos tres parámetros y es un mejor descriptor que cualquiera de los parámetros utilizados individualmente. Para obtener el I.V.I. es necesario transformar los datos de cobertura, densidad y frecuencia a valores relativos. La suma total de los valores relativos de cada parámetro debe ser igual a 100. Por lo tanto, la suma total de los valores del I.V.I. debe ser igual a 300 (Mostacedo y Fredericksen, 2000).

III.10 Conservación de suelos y agua

El suelo es un cuerpo natural tridimensional que forma la capa superficial de la corteza terrestre. Asimismo, la capa edáfica es un elemento natural dinámico y vivo que forma la interfaz entre la litosfera, biosfera y atmósfera; proporciona los nutrientes, agua y soporte físico para el desarrollo vegetal y desempeña un papel importante en la fuente de alimentación para los seres vivos. Es un recurso no renovable a escala humana que es preciso proteger, pues de su funcionamiento perfecto se derivan importantes consecuencias para el mantenimiento de la calidad de la hidrosfera y la biosfera, ya que es un receptor y amortiguador natural de la contaminación: filtra, almacena, degrada, neutraliza e inmoviliza sustancias orgánicas e inorgánicas tóxicas, al impedir que alcancen las aguas subterráneas y el aire o que entren en la cadena alimenticia; por lo que es muy importante protegerlo y conservarlo de los procesos de degradación (García, 2013).

Un plan de restauración debe partir de (1) identificar los procesos de degradación que afectaron los ecosistemas de interés; (2) ser antecedida por la rehabilitación de los suelos en los cuales se llevará a cabo; (3) reconocer que tanto la degradación como su potencial restauración son producto del manejo de recursos naturales por parte de comunidades humanas, que dejan una huella interpretable sobre los ecosistemas (Sánchez *et al.*, 2005).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de este programa de mejoramiento ambiental se analizó información espacial y medioambiental de bases de datos de organismos gubernamentales y privados como INEGI (Uso de suelo y vegetación: serie VI 2016, edafología nacional 1: 250, 000 serie II 2007, Modelo Digital de Elevación: resolución de 15 m), CONABIO (Base de datos climáticos: 2008, y SENTINEL (S2A_MSIL2A_20220101T170721_N0301_R069_T14QNF_20220101T194110: Fecha de toma: 01 de enero de 2022 (reciente), Nivel de procesamiento: Nivel 2 A, Tipo de producto: S2MSI2A, Cobertura de nubes: 0.101839).

El procesamiento de dicha información se realizó en el programa de Sistemas de Información Geográfica ArcGIS, versión 10.8.

Adicionalmente y de manera simultánea, se realizaron trabajos de campo con parcelas de muestreo de vegetación para determinar los parámetros necesarios para el cálculo del índice de valor de importancia.

IV.1 Áreas para reforestación

Se tomaron datos aún no publicados a los cuales se les realizó una supervisión no clasificada en el procedimiento que a continuación se presenta.

A partir de una imagen de satélite Sentinel 2, obtenida del sitio <http://sentinel-hub.com>, y con ayuda del programa ArcGIS se realizó una fotointerpretación mediante la clasificación no supervisada de la zona; es decir, mediante las firmas espectrales capturadas en la imagen. La imagen utilizada corresponde a la fecha 1 de enero de 2022 y la escala es de 10 m por pixel.

IV.1.1 Clasificación no supervisada

Para la clasificación no supervisada primeramente se realizó la corrección atmosférica de la imagen. La corrección atmosférica trata de evaluar y eliminar las distorsiones que la atmósfera genera en la información captada por los sensores (radiancia) desde la superficie. La corrección atmosférica de la imagen de satélite, se realizó con la ayuda del

software Qgis 3.22 mediante el plugin *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP), mediante el cual corregimos los efectos de dispersión y absorción de la atmósfera. Con esto se determina el valor real de reflectancia de la superficie de la Tierra, a partir de la reflectancia aparente medida por el sensor.

IV.1.1.1 Ecuación del Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada (NDVI)

Se optó por utilizar el Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada (NDVI) debido a que es un indicador numérico que utiliza las bandas espectrales roja y cercana al infrarrojo, está muy asociado con el contenido de vegetación. Los valores altos de NDVI se asocian a áreas que reflejan más en el espectro del infrarrojo cercano. Una mayor reflectancia en el infrarrojo cercano corresponde a una vegetación más densa y saludable.

Debido al avance en los sistemas computacionales y en particular a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) es posible programar todos estos procesos en el mismo y obtener resultados no solo más precisos sino más rápidos, eficientes y para mayores superficies. Todo lo anterior siempre y cuando se cuente con la información base necesaria, en este caso se hace uso de la herramienta *map algebra-raster calculator* de ArcGIS.

A continuación, se presenta la ecuación empleada para calcular el NDVI (Sentinel 2).

$$NDVI = \frac{(B8 - B4)}{(B8 + B4)}$$

Donde:

B8 = Banda espectral 8

B4 = Banda espectral 4

NDVI= Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada

Una vez concluidos los procesos de clasificación no supervisada se obtuvieron dos categorías de clasificación: alta cobertura vegetal y baja cobertura vegetal. Con el fin de poder trabajar con dicha capa se convirtió a formato *shape*.

IV.1.2 Determinación de las áreas a reforestar

Dada la notable presencia de polígonos pequeños con baja cobertura vegetal, determinados en el proceso de clasificación no supervisada, se determinó eliminar todos aquellos que no superaban una hectárea de superficie ya que es una superficie muy pequeña y en la mayoría de los casos se encontraba rodeada de zonas de alta cobertura, en las cuales se puede esperar una regeneración natural de la vegetación con la dispersión de semilla; adicionalmente, se hizo un proceso de generalización en los polígonos restantes con el fin de tener vértices bien definidos para los trabajos de reforestación.

Por último, en los años 2020 y 2021 se realizaron trabajos de reforestación en una sección de la UMA y en el año 2022 se realizó una segunda etapa de trabajos de reforestación, dichas áreas fueron excluidas por considerar que ya no es necesario realizar trabajos de mejoramiento ambiental en ellas. En la 0 y 0 se pueden apreciar ejemplos de las zonas con buena y mala cobertura forestal.

Lo anterior conllevó a restar dichas superficies de las consideradas y obtener un solo resultado final que indica la superficie en la que es deseable realizar la reforestación.



Figura 5. Zonas de buena cobertura forestal en la UMA.



Figura 6. Claros o zonas de baja cobertura forestal en la UMA.

IV.1.3 Muestreo de flora

Las especies a utilizar se definieron mediante un muestreo de flora en la zona y la determinación de los índices de valor de importancia (IVI).

Respecto al muestreo de flora, en total se tomaron datos de 13 unidades de muestreo (sitios) circulares, cada una con una superficie de 1000 m² (17.85 m de radio).

En la 0 se muestra el mapa con los sitios de muestreo elegidos. En función de la superficie, tipos de vegetación y limitación de recursos se buscó muestrear la mayor cantidad de sitios posible, con la idea de cubrir de manera más o menos simétrica la totalidad del área de la UMA y los dos tipos de vegetación identificados de acuerdo a INEGI, sin que los sitios estuvieran entre los límites de ambos. Para lo anterior, se creó una cuadrícula en toda el área de la UMA y se seleccionaron los puntos en donde se cumplían las condiciones anteriormente mencionadas. Se realizaron 7 sitios de muestreo en Vegetación Secundaria Arbórea (VSA) y 6 en Vegetación Secundaria arbustiva (VSA).

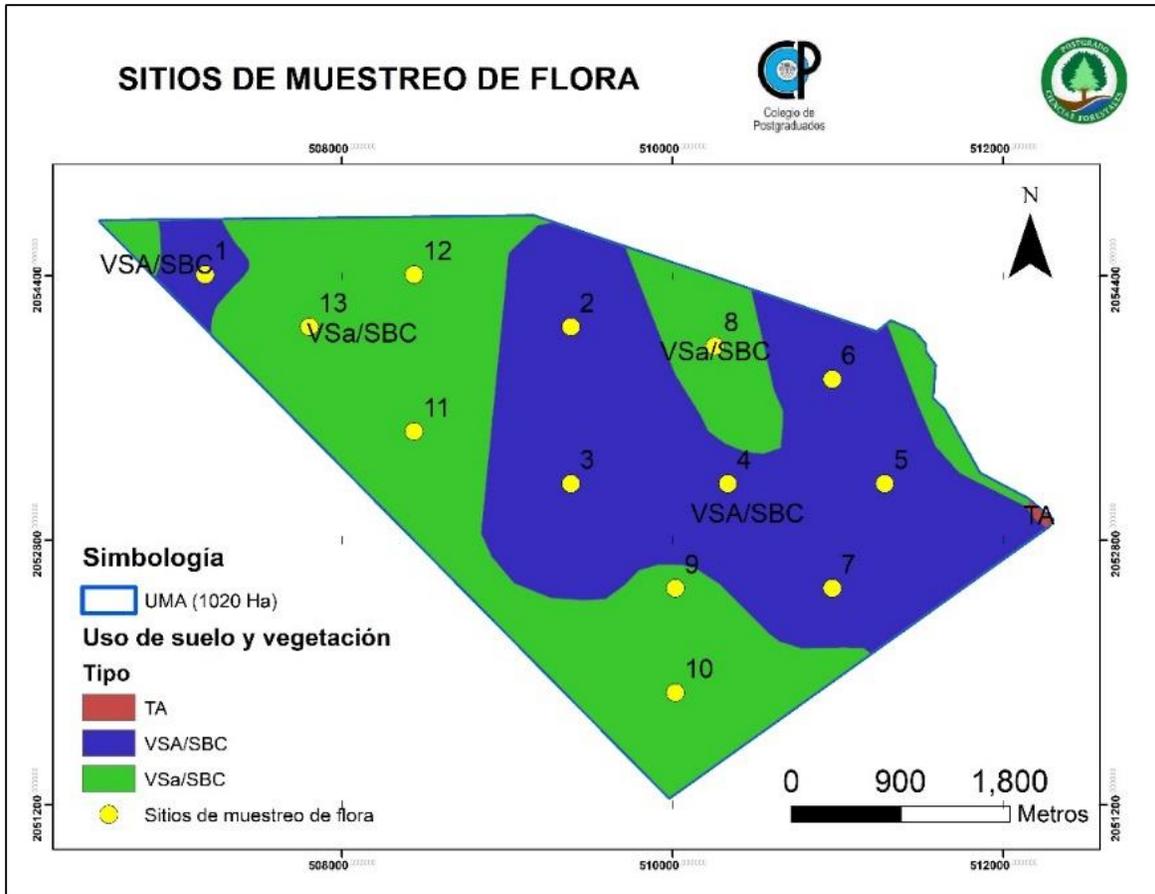


Figura 7. Sitios de muestreo de flora dentro del polígono de la UMA. La clasificación de vegetación es de acuerdo a la serie VI uso de suelo y vegetación de INEGI. Ta: Agricultura de temporal, VSA: Vegetación Secundaria Arbórea de Selva Baja Caducifolia, VSa: Vegetación Secundaria arbustiva de Selva Baja Caducifolia

Para la toma de datos se utilizaron cintas de 50 m, flexómetro, forcípula e hipsómetro como se muestra en la 0, 0, 0 y 0. Los datos que se tomaron fueron número de árboles, diámetro a la altura del pecho (DAP), altura y especie. El DAP mínimo para considerar los individuos dentro del muestreo fue de 7.5 cm. Todo lo anterior se aplicó únicamente al estrato arbóreo del ecosistema ya que era el de interés de este programa. Los árboles de los sitios de muestreo fueron marcados con aerosol en caso de requerirse un segundo levantamiento o cotejo de datos, esto se puede apreciar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

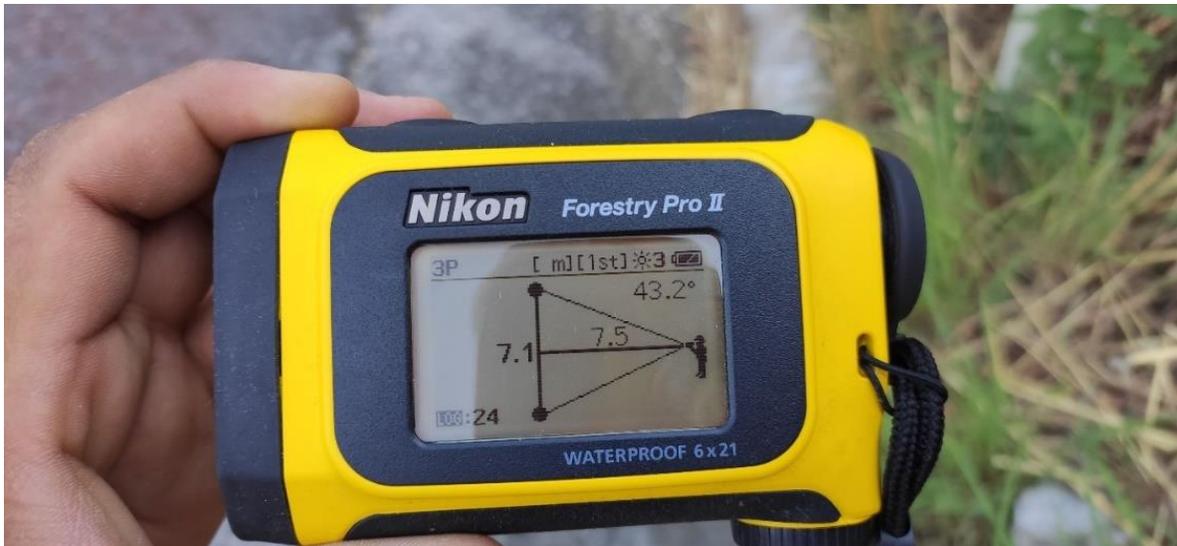


Figura 8. Ejemplo de hipsómetro utilizado para determinar altura de los árboles.



Figura 9. Ejemplo de forcípula utilizada para determinar diámetro de los árboles.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se pueden apreciar fotografías de la toma de datos en campo.



Figura 10. Determinación del radio de las unidades de muestreo. El radio de los sitios de muestreo fue de 17.85 m², primeramente, se partía de la definición de dicho radio y posteriormente identificar todos los individuos arbóreos que entraban dentro de la circunferencia.



Figura 11. Medición de altura de especies de *Opuntia* sp. Para todos los sitios se midió DAP, siempre y cuando superara los 7.5 cm, altura y se identificó la especie.



Figura 12. Marcado e identificación de árboles de sitio de muestreo Para todos los sitios se marcaron los árboles considerados en caso de que se requiriera hacer un segundo levantamiento de datos para cotejo.

Los datos del muestreo de flora se compilaron en tablas de tal manera que se pudiera identificar la especie, la familia a la que pertenece, y el número acumulado de individuos de cada una de las especies por sitio de muestreo y se utilizaron para calcular el Índice de Valor de Importancia (IVI) mediante el siguiente procedimiento:

IV.1.3.1 Índice de Valor de importancia

A continuación, se presentan todas las fórmulas para el cálculo del índice de valor de importancia y los componentes de la misma de acuerdo a lo presentado por Franco (2011) y Brower *et al.* (1997).

La abundancia relativa es la incidencia relativa de cada uno de los elementos en relación con los demás, es decir, la proporción de individuos de la especie i respecto al número total de individuos encontrados de todas las especies N .

$$pi = \frac{ni}{N}$$

La Densidad (D) se refiere al número de individuos (ni) dentro del área total muestreada (A), calculada para cada cuadrante.

$$Di = \frac{ni}{A}$$

La Densidad Relativa de especies (RD) es el número total de individuos de todas las especies ($\sum n$). Fue calculada para cada cuadrante.

$$RDi = \frac{ni}{\sum n}$$

La Frecuencia Absoluta (f) es la probabilidad de encontrar cierta especie dentro de una muestra (cuadrante), es decir, el número de cuadrantes en que apareció cada especie. Se calculó también la frecuencia absoluta de todas las especies presentes en cada cuadrante.

$$fi = \frac{ji}{k}$$

j es el número de unidades de muestreo donde aparece la especie i , y k es el número total de unidades de muestreo (cuadrantes).

La Frecuencia Relativa (Rf) es la frecuencia de cierta especie (fi) como la proporción de la suma de las frecuencias de todas las especies ($\sum f$).

$$Rfi = \frac{fi}{\sum f}$$

La Cobertura (C) es la proporción de suelo ocupado por cierta especie de planta, el área total cubierta (área basal o el follaje de la copa) por la especie i . Esta medida fue calculada para cada cuadrante.

$$Ci = \frac{ai}{A}$$

Donde ai es el área basal de cada especie.

La Cobertura Relativa (RC) se calculó para cada especie de la siguiente manera:

$$RCi = Ci \frac{Ci}{\sum C}$$

El Índice de Valor de Importancia (IVI) se obtiene a partir de la suma de las tres medidas relativas. Se calculó así:

$$IVI = RDi + Rf + RCi$$

IV.1.3.2. Especies a utilizar

Una vez realizado el cálculo de los índices de valor de importancia se definieron las especies a utilizar en la reforestación, para lo cual se consideraron en una primera instancia las 20 especies con mayor índice de abundancia. La razón de escoger las especies con mayor Índice de Valor de Importancia obedeció a mantener en la medida de lo posible las principales especies clímax que presentaba el ecosistema en cuestión.

Posteriormente, se seleccionaron solo aquellas especies de producción comercial viables de obtener (verificado mediante sondeos en algunos viveros de la zona), y se determinó usar un total de 15 especies para los trabajos de reforestación.

IV.1.4 Trazo de la plantación

Para el trazo de la plantación se partió de las recomendaciones de CONAFOR (2010); en las que establece que el sistema de plantación marco real se recomienda en pendientes de hasta 20% y el sistema de plantación en tres bolillo se considera para zonas de pendiente superior a dicho valor. Por lo tanto, con base en el modelo digital de elevación de la UMA se realizó un mapa de pendientes clasificando las mismas en rangos de 0-20% y valores superiores a éste.

Con la información del mapa de pendientes y con las áreas definitivas para reforestación se realizó una intersección de áreas y se determinaron las áreas en donde se colocaría planta en trazado tres bolillo y en donde se colocaría planta en trazado marco real. Esto, claro está, aplica solamente a los claros desprovistos totalmente de vegetación. En aquellos con remanentes de vegetación o rebrote de especies nativas el marco de plantación se ajustará a estas condiciones.

Por último, se considera que se deben realizar las plantaciones por el método de cepa común en medidas de 0.30 m de ancho por 0.3 m de largo y 0.3 m de profundidad.

Adicionalmente es necesario que se realicen cajetes de al menos 50 cm de diámetro y se coloquen tutores a todas aquellas plantas que pudiesen presentar una baja lignificación del tallo.

IV.1.5 Densidad de plantación

De acuerdo con el Manual de Prácticas de Reforestación de CONAFOR (2010), se recomienda reforestar en una densidad de 625 a 900 individuos por ha. Los datos del muestreo de campo arrojaron una media de 484 árboles / Ha de manera general dentro de la UMA (9 de los sitios de muestreo cayeron en sitios de buena cobertura vegetal y 4 en zonas de baja cobertura vegetal). Considerando dicho valor como el 100% y que la superficie no está completamente libre de vegetación, se consideró reforestar al 75% de dicho valor en los polígonos de baja cobertura vegetal; es decir, plantar 363 individuos · Ha⁻¹ ya que no son áreas completamente expuestas.

En cuanto a las proporciones de planta a utilizar se mantuvieron las mismas obtenidas en el muestreo de vegetación. Dado que al descartar algunas no comerciales la proporción real no llega al 100% la proporción restante se repartió nuevamente entre las especies seleccionadas hasta llegar a completar el 100.00% de los individuos a colocar.

IV.1.6 Distanciamiento

Según el Manual de Prácticas de Reforestación de CONAFOR (2010) las fórmulas para el cálculo de distanciamiento entre plantas para marco real y tres bolillo son las mostradas en la 0 y 0.

Ejemplo para la determinación del número de plantas/ha en cuadrado

D = distancia entre plantas y entre líneas = 2 m

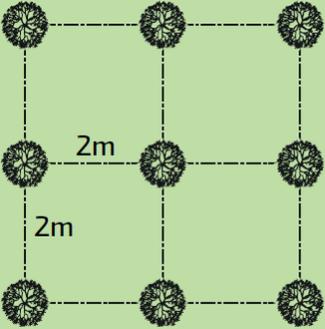
$$\frac{Np}{ha} = \frac{10,000 \text{ m}^2}{d^2} = \frac{10,000 \text{ m}^2}{2^2} = \frac{10,000 \text{ m}^2}{4} = 2,500 \text{ plantas/hectárea}$$


Figura 13. Fórmula de cálculo de distanciamiento entre plantas en trazado marco real Fuente: (CONAFOR, 2010)

Así, para el caso de la plantación en marco real, con una densidad de 363 individuos por hectárea, despejando y sustituyendo en la formula, el distanciamiento que se obtiene es el siguiente:

$$\sqrt{\frac{10\,000}{363}}$$

Distancia = 5.2486

El valor se redondea a 5.25 m

Formula para determinar densidad 3 bolillo:

$$\frac{Np}{ha} = \frac{10,000 \text{ m}^2}{d^2 \times 0.866}$$

Donde:
0.866 = valor de la tangente trigonométrica

Ejemplo de la determinación del número de plantas/ha en tres bolillos

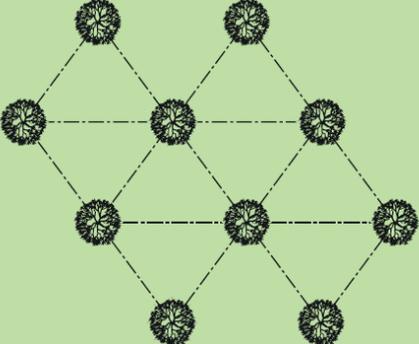
$$\frac{Np}{ha} = \frac{10,000 \text{ m}^2}{d^2 \times 0.866} = \frac{10,000 \text{ m}^2}{3\text{m} \times 3\text{m} \times 0.866} = 1,283 \text{ plantas/hectárea}$$


Figura 14. Fórmula de cálculo de distanciamiento entre plantas en trazado marco real Fuente: (CONAFOR, 2010)

Y para el caso del trazado en tres-bolillo, con la misma densidad, el distanciamiento que se obtiene es:

$$\sqrt{\frac{\left(\frac{10000}{363}\right)}{0.866}}$$

Distancia = 5.6401

El valor se redondea a 5.64 m

IV.2 Áreas para obras de conservación de suelos y agua

Para la determinación de las zonas de alta erosión se realizó el procedimiento de cálculo de erosión de suelos mediante el modelo USLE y bajo la metodología propuesta por Becerra (1999) y Montes *et al.* (2011).

IV.2.1 Cálculo de las áreas con alta erosión hídrica

Para determinar las áreas con alta erosión hídrica se procedió al cálculo de erosión de suelos mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE, por sus siglas en inglés). El procedimiento se detalla a continuación.

IV.2.2 Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE)

La fórmula general para el cálculo de erosión de suelos es:

$$E = R * K * L * S * C * P$$

Donde:

E = Erosión del suelo ($t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$)

R = Erosividad de la lluvia ($Mj \cdot ha \cdot mm^{-1} \cdot hr^{-1}$)

K = Erosionabilidad del suelo

LS = Longitud y Grado de pendiente

C = Factor de vegetación

P = Factor de prácticas mecánicas

Todos los procesos de cálculo de los factores se realizaron en el programa ArcGIS. A continuación, se presenta la teoría de cálculo de cada uno de ellos.

IV.2.3 Cálculo de erosividad “R”

Para el caso específico del polígono de la UMA el cálculo de “R” se hace utilizando la ecuación siguiente propuesta por Cortés (1991).

$$R = 1.9967 X + 0.003270 X^2$$

x = precipitación media anual

Cabe resaltar que, al no haber estaciones climatológicas dentro del polígono de la UMA de las cuales obtener el valor de precipitación media anual, se realizó una interpolación de valores con todas aquellas estaciones que la rodeaban como se muestra en la 0. Dicha información se obtuvo de las normales climatológicas de CONAGUA desde el sitio web: <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=mor>.

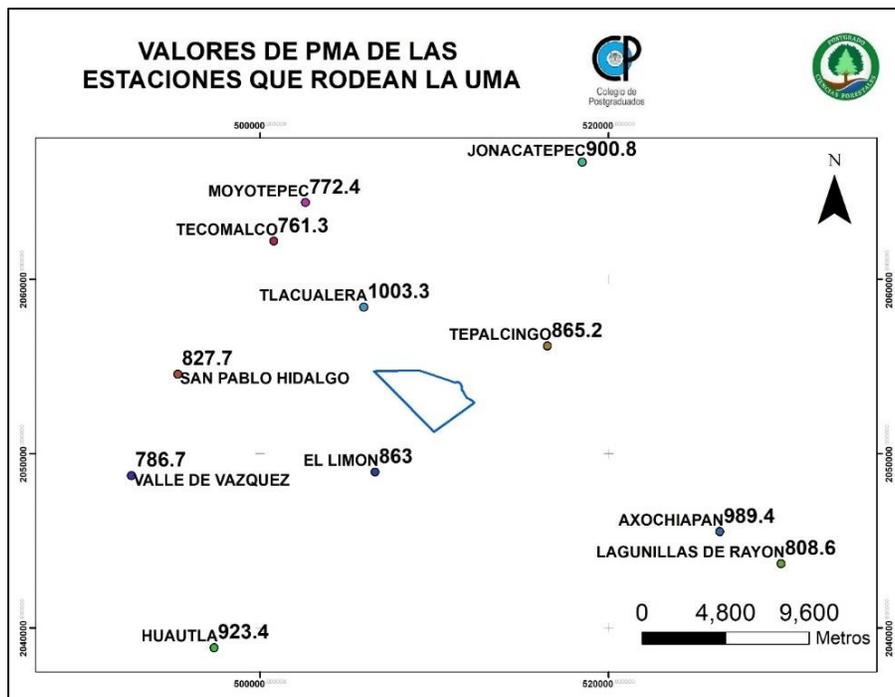


Figura 15. Normales climatológicas circundantes y valores de Precipitación Media Anual (PMA) en los alrededores del polígono de la UMA.

Posteriormente se aplicó la fórmula propuesta por Cortés (1991), ya que es un método indirecto de obtener el valor de R de la ecuación de erosión de suelos contando únicamente con el valor de precipitación media anual.

IV.2.4 Determinación de erosionabilidad “K”

Los valores de K se determinaron de acuerdo a las tablas presentadas por Becerra (1999) en las cuales se relaciona el tipo de suelo y la textura para la determinación del valor de erosionabilidad. Se consultó la base de datos de INEGI de tipos de suelo en escala a 1:250 000 para verificar los tipos de suelo en la zona, los cuales siguen la clasificación del *World Reference Base for Soil Resources* (WRB). Dado que en la UMA la única unidad de suelo es el Leptosol, según se corroboró con la base de datos de suelos del INEGI, el valor correspondiente de erosionabilidad fue de 0.053, por lo que se creó un archivo *raster* del polígono de la UMA con un valor homogéneo de 0.053 para cálculos posteriores de álgebra de mapas.

IV.2.5 Cálculo de “LS”, Longitud y grado de la pendiente

El cálculo de LS se define por las siguientes fórmulas:

$$L = \left(\frac{X}{22.13} \right)^m$$

x = Longitud de la pendiente en metros

m = exponente que depende del grado de la pendiente

S = Factor de gradiente de la pendiente

$$S = 0.065 + 0.045s + 0.0065s^2$$

$$s = \left(\frac{Z_{\max} - Z_{\min}}{x} \right) * 100$$

s = pendiente del terreno %

Z_{\max} = Altura de la parte alta del terreno (m).

Z_{\min} = Altura de la parte baja del terreno (m)

x = Longitud del terreno (m).

Todos los cálculos referentes a *LS* se realizaron en el programa ArcGIS. Se partió del uso de un Modelo Digital de Elevación (MDE) obtenido de INEGI con una resolución de 15 m. Posteriormente, mediante procesos de álgebra de mapas, se simularon las ecuaciones anteriores.

IV.2.6 Cálculo de C (Factor de cobertura de vegetación)

Para determinar el valor del coeficiente *C* se revisó el tipo de vegetación reportado por INEGI en la carta de Uso de Suelo y Vegetación serie VI. En la misma se reportaban tres tipos: Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia, vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia y una pequeña porción de agricultura de temporal. Tomando como referencia la tabla presentada por Montes *et al.* (2011) se asignaron los valores correspondientes de *C* a cada tipo y se generó una capa *raster* que se utilizó después.

IV.2.7 Determinación del factor P (Prácticas de conservación de suelos)

Debido a que no se tenía evidencia de la implementación de prácticas de conservación de suelos en la UMA no fue posible determinar este valor. Por lo tanto, dicho valor se asume como la unidad, de tal manera que no afecta la determinación de los valores de erosión.

IV.2.8 Grado de erosión en el polígono de interés

Derivado de la aplicación de la fórmula de erosión de suelos con los coeficientes previamente determinados se obtuvieron los valores de erosión en el polígono. Para categorizarlos se utilizó la clasificación propuesta por Montes *et al.* (2011) que se presenta en el 0.

Cuadro 1. Clasificación de la erosión por su magnitud.

Tipo	Rango (ton Ha ⁻¹ ·año ⁻¹)	Clasificación
1	<50	Baja
2	50-100	Media
3	100-150	Considerable
4	150-200	Alta
5	200-250	Muy alta
6	>250	Extrema

Fuente: *Montes et al.* (2011)

IV.3 Zonas prioritarias de obras de conservación de suelos

Dado que el objetivo de este trabajo fue determinar las zonas prioritarias para obras de conservación de suelos y agua, se hizo una reclasificación en dos categorías: (1) aquellas zonas que presentaban una erosión superior a 150 ton·Ha⁻¹, rango que considera las categorías: alta, muy alta y extrema de acuerdo a *Montes et al.* (2011) y (2) aquellas debajo de ese umbral. Adicionalmente se hizo un afinado de la capa con el fin de eliminar aquellas zonas de muy pequeñas dimensiones (menores a 1 Ha).

Debido a la gran cantidad de superficie que idealmente requería obras de conservación de suelos, se determinó que solo se realizarán obras de conservación de suelos en las áreas con alta erosión pero que simultáneamente presenten baja cobertura forestal. Dado lo anterior se hizo una sobreposición de las capas entre los resultados de la supervisión clasificada y los resultados de erosión de suelos con valor superior a 150 ton

· Ha⁻¹. Por último, cabe resaltar que nuevamente se eliminaron todos los polígonos de áreas menores a 1 Ha.

IV.3.1 Determinación de las escorrentías susceptibles de obras de conservación de suelos y agua

Derivado del conocimiento previo de la zona de interés, se determinó que la alta presencia de piedra sería de gran utilidad para realizar obras de conservación de suelos con dicho insumo. Para el caso de las escorrentías presentes en el sitio era una alternativa viable. Sin embargo, debían determinarse en primer lugar las escorrentías presentes en el sitio y cuáles de ellas requerían de obras urgentes.

IV.3.1.1 Determinación de las escorrentías

Con el fin de conocer las escorrentías potenciales en las cuales se pueden construir obras de conservación de suelo y agua se determinaron las mismas con ayuda del programa ArcGIS determinando la dirección y acumulación de flujo y obteniendo las mismas con las herramientas *stream link* y *stream order* y utilizando como insumo el Modelo Digital de Elevación (MDE) con una resolución de 15 metros, descargado de la página de INEGI.

Como apoyo en decisiones futuras se determinaron las microcuencas al interior del polígono con ayuda de la herramienta *hidrology* y *watershed*, Sin embargo, solo se consideraron las microcuencas que superaron un mínimo de superficie de 5 Ha.

IV.3.1.1.1 Elección de escorrentías donde se construirán obras de conservación de suelos

Dada la gran cantidad de escorrentías presentes en el polígono de la UMA se determinaron algunos parámetros de exclusión para reducir la cantidad de área a muestrear en campo, los cuales fueron:

- Solo se realizaron obras en aquellas escorrentías dentro de microcuencas con área superior a 5 Ha

- Solo se realizaron obras en escorrentías que estén dentro de los polígonos de baja cobertura vegetal y alta erosión simultáneamente, conforme a las determinaciones previas.
- Solo se consideraron escorrentías de orden igual o superior a tres dado que el tipo de obra a realizar serán presas de gaviones, las cuales se recomiendan en cauces de dicho orden.

Para ello se sobrepusieron en el programa ArcGIS las capas mencionadas y se extrajeron las escorrentías que cumplían con esas condicionantes.

IV.4 Obras de conservación de suelos y agua propuestas

Dada la gran cantidad de piedra presente en la zona se determinó usar la misma para la construcción de barreras de piedra acomodada en todas las zonas con alta erosión y la realización de presas de gaviones en cauces de tercer orden y superior únicamente.

IV.4.1 Barreras de piedra acomodada en curva a nivel

A continuación, se presenta el cálculo de distanciamiento por el método propuesto por el manual de restauración de suelos de CONAFOR (2018).

$$IV = \left(2 + \frac{P}{3 \text{ o } 4} \right) \times 0.305$$

Donde:

IV= intervalo vertical (m).

P= pendiente del terreno (%).

3= factor que se utiliza donde la precipitación anual es menor a 1,200 milímetros (mm).

4= factor que se utiliza donde la precipitación anual es mayor a 1,200 milímetros (mm).

0.305= factor de conversión de pies a metros.

$$IH = \frac{IV}{P} \times 100$$

Dónde:

IH = intervalo horizontal (m).

IV =intervalo vertical (m).

P =pendiente del terreno (%).

Con los datos previamente usados del modelo digital de elevación se determinó el factor a utilizar en función de la precipitación, en este caso se usó el factor 3, el cual se usa para zonas con precipitación media anual (pma) menor a 1200.

Posteriormente se realizó el cálculo de la precipitación media con ayuda de los datos de interpolación que se obtuvieron mientras se calculaba el factor R de la ecuación de pérdida de suelos. El valor utilizado fue una pma de 903.72 mm.

Con ayuda de los datos anteriores se calcularon los intervalos horizontales y verticales. Con todos estos datos y el modelo digital de elevación se calcularon curvas de nivel con esos intervalos. El siguiente paso fue intersectar las curvas obtenidas con los polígonos de las áreas prioritarias para obras de conservación de suelos previamente determinadas.

Cabe resaltar que la distancia determinada previamente entre barreras aplicada a la superficie de la UMA da como resultado una cantidad de 196.68 Km de barreras, lo que representa un volumen de 17, 701.41 m³ de piedra necesarios, lo cual se consideró un poco desproporcionado y difícil de cumplirse, Por lo anterior se sugirió ajustar la distancia de las barreras de piedra con el fin de llegar a un volumen de obra más fácil de alcanzar. En este caso se optó por cuadruplicar la distancia entre obras. Por lo anterior, nuevamente se determinaron las barreras con una distancia vertical de 12.96 y una distancia horizontal de 50.04 m.

IV.4.2 Presas de gaviones

Una vez determinadas las escorrentías prioritarias para los trabajos de presas de gravedad, en este caso particular de gaviones, se procedió a la visita de campo para verificar la viabilidad de los sitios y seccionar los cauces con el fin de poder determinar las medidas de las presas. Los cauces se seccionaron tomando un punto de profundidad

cada metro si era lo suficientemente ancho y en caso contrario cada 0.5 m (0) y anotando la ubicación con GPS (00) para cotejo de los datos de gabinete, lo anterior ya que al calcular las escorrentías con el Modelo Digital de Elevación se pueden tener variaciones con las reales en ubicación espacial.



Figura 16. Seccionamiento de cauces. El seccionamiento se realizó a cada metro en cauces amplios y cada 0.5 m en cauces muy angostos.



Figura 17. Toma de datos de campo con equipo GPS para su cotejo en gabinete.

IV.4.2.1 Sitios definitivos de construcción

Con los datos obtenidos de los trabajos representados en la 0 se realizaron los dibujos de secciones en el programa Autocad, como se puede apreciar en la 0, con ayuda de las secciones dibujadas se pueden proponer las dimensiones (altura efectiva, ancho de la base, largo y ancho de los tendidos y dimensiones del vertedor) y empotramientos que requiere cada presa

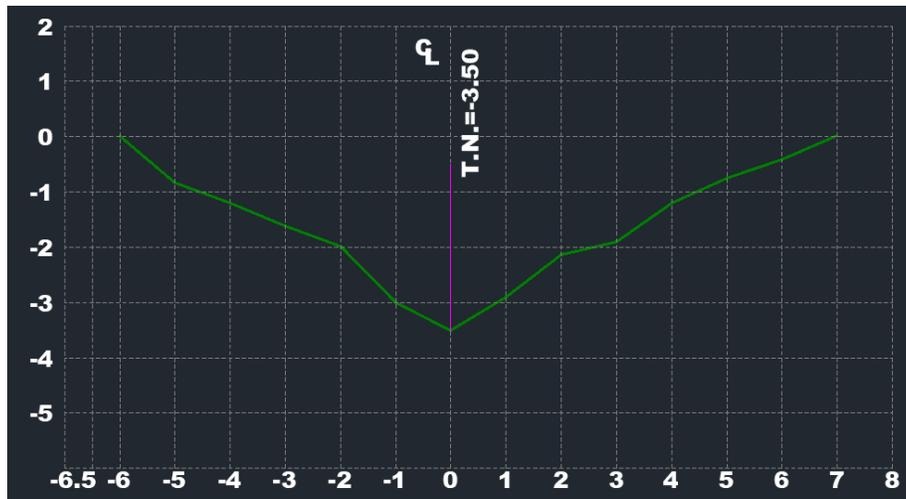


Figura 18. Ejemplo de dibujo de una de las secciones de los cauces donde pretende colocar una presa de gaviones. En color verde se distingue el dibujo del cauce seccionado.

Posteriormente se determinó el coeficiente de escurrimiento, el cual, para selva baja caducifolia, con topografía escarpada y textura gruesa, fue establecido en un valor de 0.5. A continuación, a cada uno de los sitios definitivos de presas se le calculó el área de captación de lluvia con la herramienta *watershed* de ArcGIS y con el Modelo Digital de Elevación.

Con ayuda de los datos de lluvia máxima (de 1978 a 2013), de cada una de las Normales climatológicas de CONAGUA que rodeaban la UMA se hizo una interpolación de datos para determinar isoyetas de intensidad de lluvia (lluvia máxima) para un periodo de retorno de 25 años, los valores de dichas isoyetas en cada uno de los puntos propuestos para presas de gaviones se emplearon para calcular el gasto máximo de la microcuenca de captación y, a su vez, sirvieron para determinar las medidas del vertedor. Los datos

utilizados de cada una de las Normales Climatológicas utilizadas se muestran en los anexos del presente documento.

IV.4.2.2 Cálculos de estabilidad de las presas de gaviones

Para los cálculos de estabilidad se tomó como base el procedimiento recomendado por SAGARPA y COLPOS (2017) el cual se enuncia a continuación.

Para el distanciamiento entre presas:

$$Ep = \left(\frac{H}{Pc - Ps} \right) * 100$$

Donde:

Ep es el espaciamiento entre dos presas consecutivas, en m

H es la altura efectiva de la presa, en m

Pc es la pendiente de la cárcava, en %

Ps es la pendiente de compensación, en %

Para el cálculo de la pendiente de cárcava

$$Pc = \left(\frac{Dn}{L} \right) * 100$$

Donde:

Pc es la pendiente de la cárcava, en %

Dn es el desnivel entre dos puntos considerados, en m

Para el gasto por el método racional

$$Q = C i A / 360 \text{ (m}^3 \text{ / s)}$$

C = coeficiente de escurrimiento

i = lluvia máxima en 24 hrs

A = área de la cuenca (Ha)

360 = coeficiente adimensional de conversión de unidades.

$$Q_{max} = \frac{C * i * A}{360}$$

Donde:

Q_{max} es el escurrimiento máximo, en $m^3 s^{-1}$

A es el área hidráulica de la sección, en m^2

v es la velocidad del flujo, en $m s^{-1}$

Para el gasto máximo en el vertedor

$$Q_{m\acute{a}x} = C_v * L * H_d^{3/2}$$

Donde:

$Q_{m\acute{a}x}$ es el escurrimiento máximo, en $m^3 s^{-1}$

C_v es el coeficiente del vertedor (adim.= 1.45)

L es la longitud del vertedor, en m

H_d es la carga sobre el vertedor, en m

L_b es el libre bordo, en m

Como el valor de $Q_{m\acute{a}x}$ es conocido, dado que se determinó por el método de sección y pendiente, se pueden proponer valores de L y H_d para obtener las dimensiones del vertedor.

Para la carga sobre el vertedor y el libre bordo

La ecuación (6) muestra el cálculo de H_d proponiendo un valor de L :

$$H_d = \left[\frac{Q_{m\acute{a}x}}{C_v * L} \right]^{2/3}$$

Para el peso de la lámina vertiente

$$q = h_v * b * a * w$$

Donde:

q es el peso de la lámina de agua máxima vertiente, en t

h_v es la altura de la lámina vertiente, en m

b es el ancho de corona de la presa, en m

a es el ancho de la sección crítica unitaria ($a=1$ m)

w es el peso específico del agua con sedimentos, en $t\ m^{-3} = 1.2\ t\ m^{-3}$

Su brazo de palanca con respecto al punto (A) de la Figura 11 es:

$$X(q) = b/2$$

Para el peso de la sección crítica

b1. Cálculo del volúmen unitario

$$V = (hc * B) + (h1 * b1) + (h2 * b2) + (h3 * b3)$$

b2. Cálculo del peso específico aparente

El peso específico aparente se calcula con la siguiente ecuación:

$$\gamma_0 = \gamma_p - w$$

El peso total real de la obra se calcula como:

$$P = V * \gamma_0$$

Su brazo de palanca con respecto al punto (A)

$$X(P) = Z_p$$

$$Z_p = \left[\frac{(hc * B) * B}{2} + \left\{ (h1 * b1) * \frac{b1}{2} \right\} + \left\{ (h2 * b2) * \frac{b2}{2} \right\} + \left\{ (h3 * b3) * \frac{b3}{2} \right\} \right] / V$$

Para el cálculo del empuje hidrostático

$$E = S * \hat{h} * w = (he * a) * (he/2) * w = (w * he^2) / 2$$

Donde $a=1$ por tratarse de la sección crítica unitaria. Su brazo de palanca con respecto al punto (A) es:

$$X(E) = hc + (he/3)$$

Para el cálculo de la condición de núcleo central

d). Cálculo de la condición del núcleo central

$$q(X_q) + P(X_p) + E(X_E) \leq (2 * (q + P) * B)/3$$

Para el cálculo de la condición de no deslizamiento

e). Cálculo de la condición de no deslizamiento

$$F_{SD} = (q + P) * \mu \geq E$$

Finalmente, para el cálculo de la condición de no volteamiento

f). Cálculo de la condición de no volteamiento

$$F_{SV} = \frac{P(X_p)}{E(X_E)} \geq 1$$

Con los la aplicación de las fórmulas previamente mencionadas para el cálculo de estabilidad de las presas se realizó un proceso de itinerancia de dimensiones en cada uno de los tendido que componen las presas de gaviones, de tal manera que se cumplieran los criterios de estabilidad. Una vez llegado a un punto de equilibrio se procedió a realizar un diseño general de la presa de gaviones como se muestra en la 0.

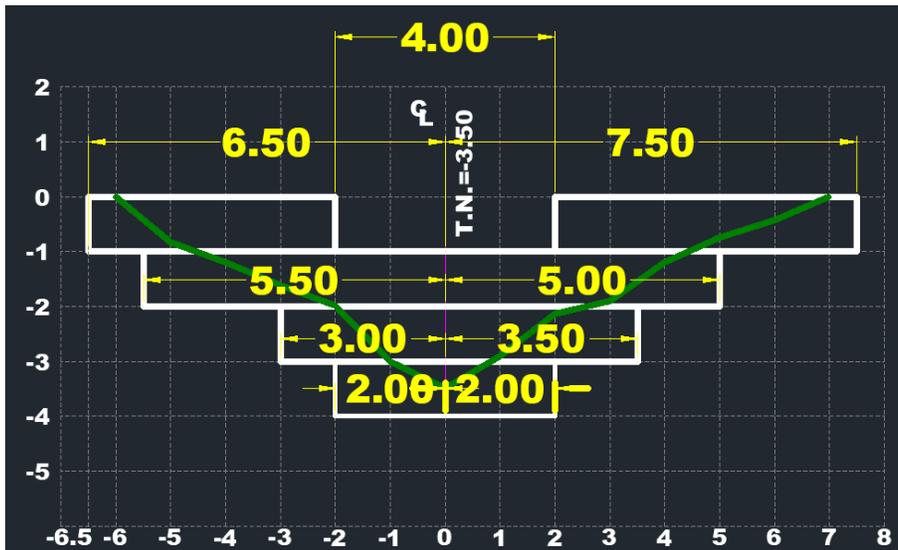


Figura 19. Ejemplo del diseño final de una presa de gaviones. En verde se distingue el cauce seccionado, en blanco el diseño de los tendidos de la presa y en amarillo las dimensiones de la misma.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

V.1. Clasificación no supervisada

En la 0 se presenta el resultado de la clasificación no supervisada de la cobertura vegetal aplicada al polígono de la UMA.

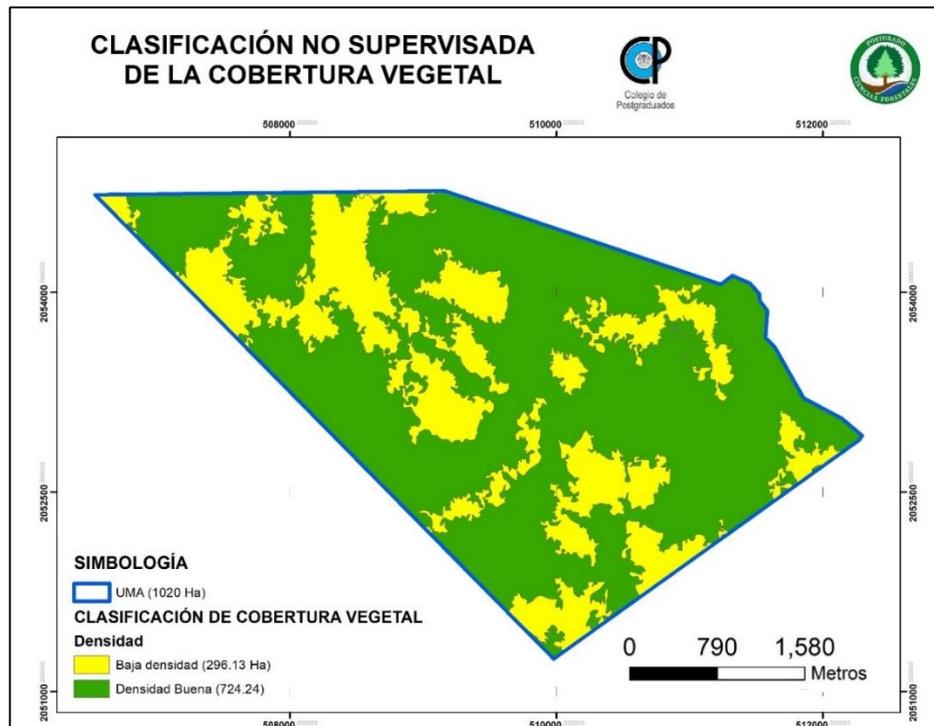


Figura 20. Clasificación de la cobertura vegetal en el polígono de la UMA (Datos no publicados). En amarillo se muestran las zonas con baja densidad o cobertura vegetal en función de la reflectancia detectada por el satélite.

Se resalta que la superficie con baja cobertura forestal determinada en la clasificación no supervisada, es del orden de 296.13 ha, representa el 29.03% de la superficie de la UMA.

V.2 Áreas a reforestar

Posteriormente a la clasificación supervisada, se excluyeron las áreas menores a 1 ha y se restaron también las áreas en las cuales ya se han tenido trabajos de reforestación en los últimos dos años.

El aplicar los criterios previamente mencionados permitió estimar acciones de reforestación en un área de 241.17 ha (0); es decir, el 23.63% de la superficie de la UMA.

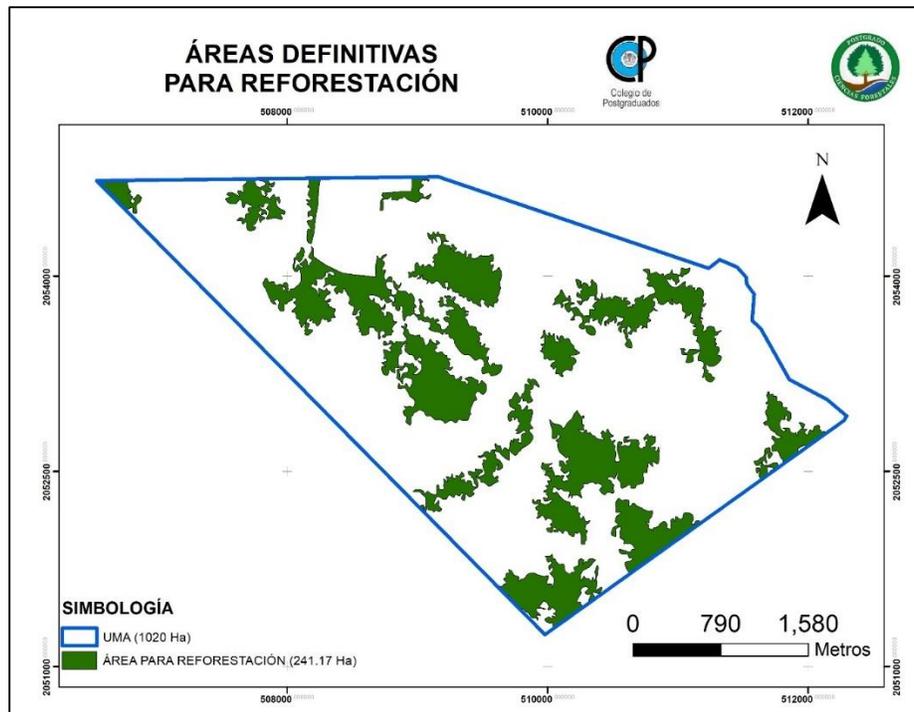


Figura 21. Áreas definitivas propuestas para trabajos de reforestación (verde). Se consideran aquellas superiores a 1 ha en superficie y se excluyen las que a pesar de tener baja cobertura cuentan con trabajos recientes de reforestación.

Con esto se resalta que se pretende realizar trabajos en las áreas más estrictamente necesarias (es decir, áreas con baja cobertura vegetal y sin trabajos recientes de reforestación) con el fin de mejorar las condiciones medioambientales de la UMA y reducir en buena medida los procesos de erosión a mediano plazo. Si bien se excluyen áreas menores a 1 ha, se espera que las mismas sean revegetadas de manera natural al estar rodeadas por zonas mejor conservadas y con alto potencial de dispersión de semilla.

V.2.1 Especies a utilizar

Los resultados compilados de los muestreos de vegetación se presentan a en el 0.

Cuadro 2. Datos de muestreo de vegetación en la UMA (número de individuos arbóreos detectados por sitio de muestreo).

Familia	Especie	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13
Fabaceae	<i>Acacia acatlensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	6
Fabaceae	<i>Acacia pennatula</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Anacardiaceae	<i>Amphipterygium adstringens</i>	18	4	4	4	0	0	0	3	13	0	7	1	1
Malpighiaceae	<i>Bunchosia canescens</i>	0	0	0	0	2	0	3	0	0	0	0	0	0
Burseraceae	<i>Bursera bicolor</i>	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	4	2	1
Burseraceae	<i>Bursera bipinnata</i>	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Burseraceae	<i>Bursera copallifera</i>	0	0	2	3	0	1	0	0	2	1	1	7	1
Burseraceae	<i>Bursera lacifolia</i>	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	3	5	0
Burseraceae	<i>Bursera leptophylla</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Burseraceae	<i>Bursera longipes</i>	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Familia	Especie	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13
Burseraceae	<i>Bursera simaruba</i>	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
Malvaceae	<i>Ceiba</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
Malvaceae	<i>Ceiba aesculifolia</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
Fabaceae	<i>Conzattia multiflora</i>	23	7	17	1	0	7	0	2	1	0	5	3	0
Fabaceae	<i>Eysenhardtia polystachya</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Malvaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i>	2	0	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3
Fabaceae	<i>Haematoxylum brasiletto</i>	0	0	0	6	0	4	0	0	0	0	1	0	0
Convolvulaceae	<i>Ipomoea murucoides</i>	0	0	0	1	1	4	1	6	1	1	0	0	5
Caricaceae	<i>Jacaratia mexicana</i>	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
Fabaceae	<i>Lysiloma acapulcense</i>	0	3	0	2	3	4	0	0	3	5	1	7	9

Familia	Especie	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13
Fabaceae	<i>Lysiloma divaricatum</i>	26	10	3	11	0	0	12	32	5	0	14	5	0
Fabaceae	<i>Mimosa</i> sp.	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Cactaceae	<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	0	1	5	3	0	0	0	1	1	0	0	1	1
Cactaceae	<i>Pachycereus grandis</i>	2	2	33	23	4	0	9	2	0	0	0	1	1
Anacardiaceae	<i>Pseudosmodisgium perniciosum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	0	0	0
Fagaceae	<i>Quercus glaucoides</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0	0	0
Polygonaceae	<i>Ruprechtia fusca</i>	0	0	0	1	2	0	8	0	0	0	0	3	0
Euphorbiaceae	<i>Sapium macrocarpum</i>	0	0	2	6	14	2	2	1	3	6	1	1	0
Fabaceae	<i>Senna skinneri</i>	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Anacardiaceae	<i>Spondias purpurea</i>	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0

Familia	Especie	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13
Cactaceae	<i>Stenocereus stellatus</i>	1	0	0	8	0	8	0	0	2	0	0	7	1
Meliaceae	<i>Trichilia hirta</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Fabaceae	<i>Vachellia campechiana</i>	0	0	0	0	0	10	0	1	0	1	0	0	0
Lamiaceae	<i>Vitex mollis</i>	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
Lamiaceae	<i>Vitex pyramidata</i>	0	0	0	1	0	3	0	3	0	0	9	0	2

Fuente: Datos no publicados. M = sitio de muestreo

Los resultados de los cálculos de valores de índice de Valor de importancia de los sitios de muestreo se muestran en el 0:

Cuadro 3. Determinación de índices de valor de importancia (IVI) de la vegetación muestreada.

Especie	Abundancia 13 sitios de muestreo	Frecuencia	Frecuencia relativa	Densidad por hectárea	Ln (pi)	Densidad Relativa	Dominancia (área basal en m ² · ha ⁻¹)	Dominancia relativa	Índice de Valor de Importancia (IVI)
<i>Acacia acatlensis</i>	10	3.00	2.08	7.69	0.02	1.59	23590.00	1.55	5.23
<i>Acacia pennatula</i>	1	1.00	0.69	0.77	0.00	0.16	5384.62	0.35	1.21
<i>Amphipterygium adstringens</i>	55	9.00	6.25	42.31	0.09	8.74	116700.00	7.68	22.67
<i>Bunchosia canescens</i>	5	2.00	1.39	3.85	0.01	0.79	6153.85	0.40	2.59
<i>Bursera bicolor</i>	11	7.00	4.86	8.46	0.02	1.75	62788.46	4.13	10.74
<i>Bursera bipinnata</i>	2	1.00	0.69	1.54	0.00	0.32	27115.38	1.78	2.80
<i>Bursera copallifera</i>	18	8.00	5.56	13.85	0.03	2.86	87386.15	5.75	14.17

Espece	Abundancia 13 sitios de muestreo	Frecuencia	Frecuencia relativa	Densidad por hectárea	Ln (pi)	Densidad Relativa	Dominancia (área basal en m ² · ha ⁻¹)	Dominancia relativa	Índice de Valor de Importancia (IVI)
<i>Bursera lacifolia</i>	11	4.00	2.78	8.46	0.02	1.75	24230.77	1.59	6.12
<i>Bursera leptophylla</i>	1	1.00	0.69	0.77	0.00	0.16	46153.85	3.04	3.89
<i>Bursera longipes</i>	6	1.00	0.69	4.62	0.01	0.95	6720.00	0.44	2.09
<i>Bursera simaruba</i>	3	3.00	2.08	2.31	0.00	0.48	117510.77	7.73	10.29
<i>Ceiba</i> sp.	2	1.00	0.69	1.54	0.00	0.32	14134.62	0.93	1.94
<i>Ceiba aesculifolia</i>	2	2.00	1.39	1.54	0.00	0.32	39230.77	2.58	4.29
<i>Conzattia multiflora</i>	66	9.00	6.25	50.77	0.10	10.49	129455.38	8.52	25.26
<i>Eysenhardtia polystachya</i>	2	2.00	1.39	1.54	0.00	0.32	13461.54	0.89	2.59
<i>Guazuma ulmifolia</i>	10	4.00	2.78	7.69	0.02	1.59	44860.77	2.95	7.32

Especie	Abundancia 13 sitios de muestreo	Frecuencia	Frecuencia relativa	Densidad por hectárea	Ln (pi)	Densidad Relativa	Dominancia (área basal en m ² · ha ⁻¹)	Dominancia relativa	Índice de Valor de Importancia (IVI)
<i>Haematoxylum brasiletto</i>	11	3.00	2.08	8.46	0.02	1.75	20563.85	1.35	5.19
<i>Ipomoea murucoides</i>	20	8.00	5.56	15.38	0.03	3.18	104843.08	6.90	15.63
<i>Jacaratia mexicana</i>	3	1.00	0.69	2.31	0.00	0.48	14102.31	0.93	2.10
<i>Lysiloma acapulcense</i>	37	9.00	6.25	28.46	0.06	5.88	91243.85	6.00	18.14
<i>Lysiloma divaricatum</i>	118	9.00	6.25	90.77	0.19	18.76	116923.08	7.69	32.70
<i>Mimosa</i> sp.	1	1.00	0.69	0.77	0.00	0.16	3076.92	0.20	1.06
<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	13	7.00	4.86	10.00	0.02	2.07	24435.38	1.61	8.54
<i>Pachycereus grandis</i>	77	9.00	6.25	59.23	0.12	12.24	52571.54	3.46	21.95

Especie	Abundancia 13 sitios de muestreo	Frecuencia	Frecuencia relativa	Densidad por hectárea	Ln (pi)	Densidad Relativa	Dominancia (área basal en m ² · ha ⁻¹)	Dominancia relativa	Índice de Valor de Importancia (IVI)
<i>Pseudosmodisgium perniciosum</i>	6	2.00	1.39	4.62	0.01	0.95	21706.92	1.43	3.77
<i>Quercus glaucooides</i>	19	1.00	0.69	14.62	0.03	3.02	6614.62	0.44	4.15
<i>Ruprechtia fusca</i>	14	4.00	2.78	10.77	0.02	2.23	35012.31	2.30	7.31
<i>Sapium macrocarpum</i>	38	10.00	6.94	29.23	0.06	6.04	100929.23	6.64	19.63
<i>Senna skinneri</i>	3	2.00	1.39	2.31	0.00	0.48	13461.54	0.89	2.75
<i>Spondias purpurea</i>	3	2.00	1.39	2.31	0.00	0.48	35000.00	2.30	4.17
<i>Stenocereus stellatus</i>	27	6.00	4.17	20.77	0.04	4.29	19780.77	1.30	9.76
<i>Trichilia hirta</i>	1	1.00	0.69	0.77	0.00	0.16	3076.92	0.20	1.06

Espece	Abundan cia 13 sitios de muestreo	Frecuencia	Frecuencia relativa	Densidad por hectárea	Ln (pi)	Densidad Relativa	Dominancia (área basal en m ² · ha ⁻¹)	Dominancia relativa	Índice de Valor de Importancia (IVI)
<i>Vachellia campechiana</i>	12	3.00	2.08	9.23	0.02	1.91	10515.38	0.69	4.68
<i>Vitex mollis</i>	3	3.00	2.08	2.31	0.00	0.48	54807.69	3.61	6.17
<i>Vitex pyramidata</i>	18	5.00	3.47	13.85	0.03	2.86	26260.77	1.73	8.06
SUMATORIA		144.00	100.00	483.85	1.00	100.00	1519803.08	100.00	300.00

Fuente: Datos no publicados.

El 0 presenta las 15 especies seleccionadas para los trabajos de reforestación, las cuales tiene los más altos valores de IVI y son viables de encontrar de manera comercial. Adicionalmente se detectaron algunas características particulares que son de interés para los fines del presente trabajo.

Cuadro 4. Especies propuestas para la reforestación.

Especie	Índice de Valor de Importancia (IVI)	Característica de interés
<i>Lysiloma divaricatum</i>	32.70	Amplia distribución en selvas bajas y de rápido crecimiento
<i>Amphipterygium adstringens</i>	22.67	Fácil propagación asexual
<i>Pachycereus grandis</i>	21.95	Fácil propagación asexual
<i>Lysiloma acapulcense</i>	18.14	Amplia distribución en selvas bajas y de rápido crecimiento
<i>Ipomoea murucoides</i>	15.63	Especie pionera para restauración y resistente a las sequias
<i>Bursera copallifera</i>	14.17	Fácil propagación asexual
<i>Bursera simaruba</i>	10.29	Fácil propagación asexual
<i>Stenocereus stellatus</i>	9.76	Fácil propagación asexual y rápido crecimiento
<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	8.54	Rápido crecimiento

Espece	Índice de Valor de Importancia (IVI)	Característica de interés
<i>Guazuma ulmifolia</i>	7.32	Especie pionera para restauración
<i>Ceiba aesculifolia</i>	4.29	
<i>Spondias purpurea</i>	4.17	Fácil propagación asexual
<i>Bursera bipinnata</i>	2.80	Fácil propagación asexual
<i>Eysenhardtia polystachya</i>	2.59	Especie pionera para restauración y rápido crecimiento
<i>Acacia pennatula</i>	1.21	Especie pionera para restauración y rápido crecimiento

Cabe resaltar que se tomaron para reforestar las especies con mayor IVI dado que dicho valor nos refleja que de manera natural son las que mejor se desarrollan en estas condiciones particulares y se pretende cubrir el suelo desnudo lo antes posible para reducir procesos de erosión. Sin embargo, en una posible segunda etapa de trabajos, se pudiera enfocar en aumentar la presencia de las especies con menor IVI o más susceptibles a alteraciones en el ambiente.

V.2.2 Trazo de la plantación

En la 0 se presenta el cálculo de la pendiente del terreno en 2 categorías, de 0-20% para las zonas de trazado a marco real y de 20.1 en adelante para el trazo de la plantación en tres bolillo.

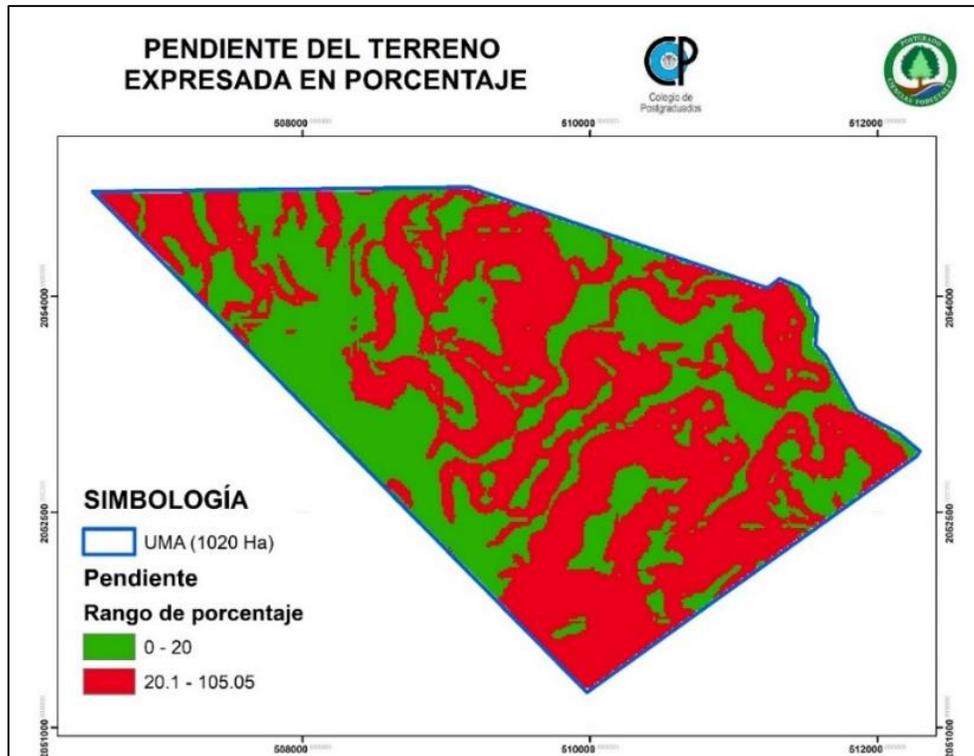


Figura 22. Pendiente del terreno expresada en porcentaje dentro de la UMA. Determinada a partir de datos de Modelo Digital de Elevación de INEGI con resolución de 15 m.

Los resultados definitivos de las áreas a reforestar con su correspondiente método de trazado se muestran en la 0.

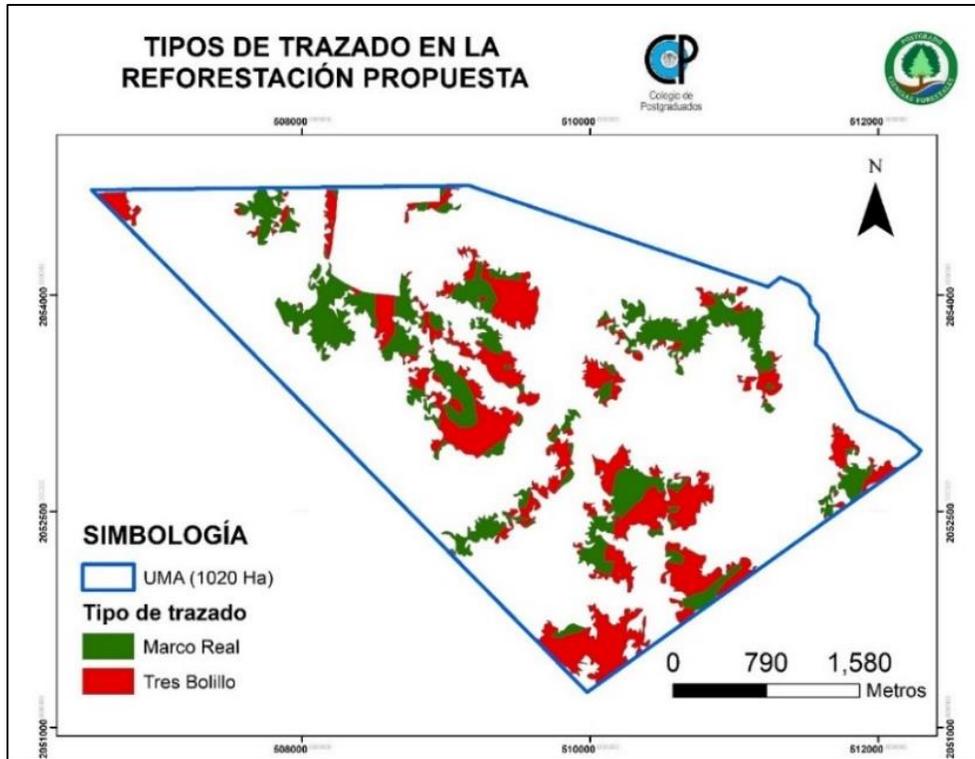


Figura 23. Tipos de trazados para la planta de reforestación. Determinados a partir de directrices de CONAFOR. En rojo el trazado tres bolillo y en verde el marco real.

Como se puede observar en la 0, se trazará en proporciones similares la reforestación ya que hay una proporción casi igual de áreas tendientes a planicie (pendiente menor a 20%) y áreas de terreno ondulado (pendientes superiores al 20%).

V.2.3 Densidad

Considerando las especies seleccionadas para reforestación, con su respectivo IVI y su proporción de individuos encontrados por ha se proponen las siguientes cantidades de planta a colocar las cuales se muestran en el 0.

Cuadro 5. Proporción de individuos a establecer en las áreas de reforestación.

Espece	Individuos ha ⁻¹	Individuos totales a establecer
<i>Lysiloma divaricatum</i>	67	16,195.00
<i>Amphipterygium adstringens</i>	47	11,360.00
<i>Pachycereus grandis</i>	45	10,877.00
<i>Lysiloma acapulcense</i>	37	8,943.00
<i>Ipomoea murucoides</i>	32	7,735.00
<i>Bursera copallifera</i>	29	7,010.00
<i>Bursera simaruba</i>	21	5,076.00
<i>Stenocereus stellatus</i>	20	4,834.00
<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	18	4,351.00
<i>Guazuma ulmifolia</i>	15	3,626.00
<i>Ceiba aesculifolia</i>	9	2,175.00
<i>Spondias purpurea</i>	9	2,175.00
<i>Bursera bipinnata</i>	6	1,450.00
<i>Eysenhardtia polystachya</i>	5	1,209.00

Espece	Individuos ha ⁻¹	Individuos totales a establecer
<i>Acacia pennatula</i>	3	725.00
TOTAL	363	87,741.00

V.2.4 Distanciamiento

Para el caso de la plantación en marco real, la distribución entre plantas y líneas debe ser de 5.25 m para poder establecer las 363. Para el caso de las plantas en tres bolillo la distancia entre plantas debe ser de 5.64 m y entre líneas de 4.33 m.

Se resalta que estas medidas son propuestas idealizadas, las cuales pueden variar ligeramente una vez se quieran establecer en campo debido a la presencia de vegetación nativa, por la necesidad de evitar el dosel de los árboles o por la presencia de nuevos brotes de planta nativa, ya que se podrán realizar de manera exacta solo en los claros de suelo sin vegetación.

V.3 Áreas para obras de conservación de suelos

A continuación, se presentan los resultados del cálculo de erosión de suelos determinados en ArcGIS.

V.3.1 Valor de R de la USLE

Derivado de la interpolación de los valores de precipitación media anual de las estaciones circundantes a la UMA se obtuvo el siguiente mapa de valores interpolados mostrado en la 0.

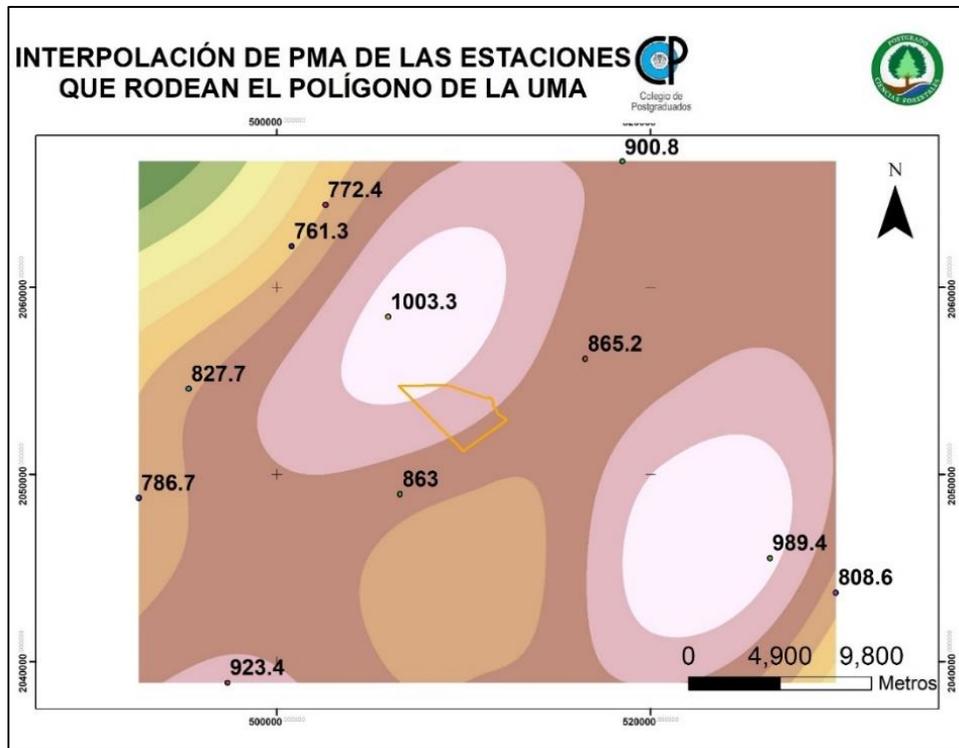


Figura 24. Interpolación de los valores de PMA. Elaborado a partir de datos de las Normales climatológicas de CONAGUA con datos 1950 – 2010.

Con los datos interpolados de la 0 y la aplicación de la fórmula de Cortés (1991), se obtuvo el siguiente mapa de valores de R mostrado en la 0.

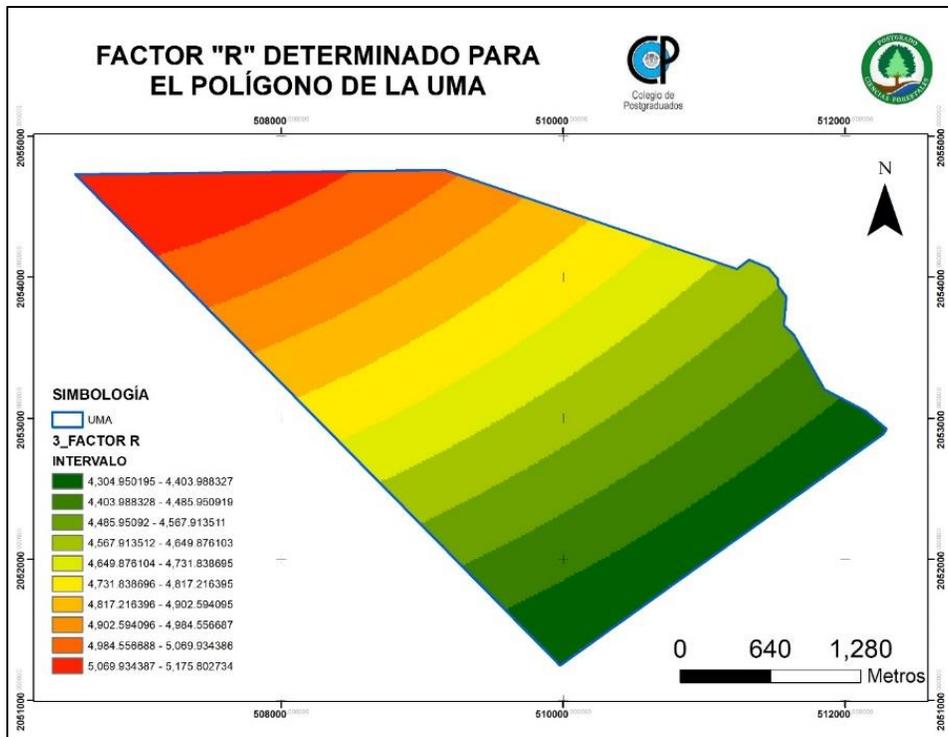


Figura 25. Valores de Coeficiente "R" obtenidos a partir de datos de ecuaciones de Cortes (1991).

V.3.2 Valor K de la USLE

Derivado de la revisión de los valores de K en función del tipo de suelo y textura se generó un *raster* con valor homogéneo dentro de la UMA ya que el tipo de suelos era el mismo (Leptosol), se presenta el mismo en la 0.

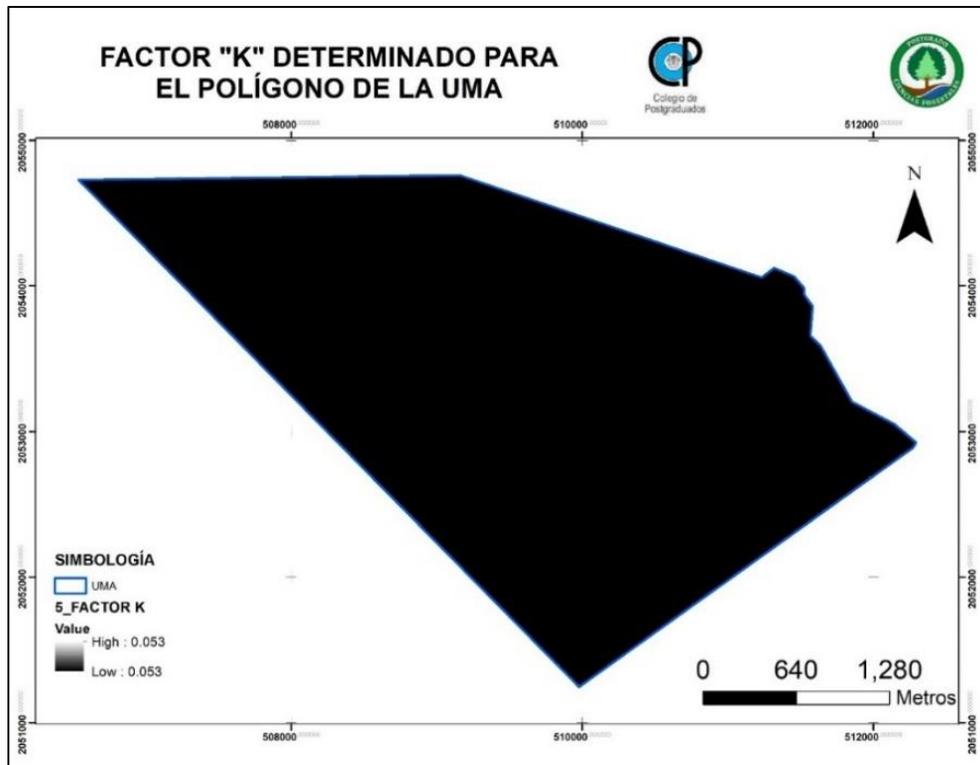


Figura 26. Valores de coeficiente “K” determinados. Guiado por datos de WRB y Becerra (1999).

V.3.3 Valor L y S de la USLE

Los valores determinados de LS con ayuda del *álgebra de mapas* de ArcGIS son los mostrados en la 0 y 0.

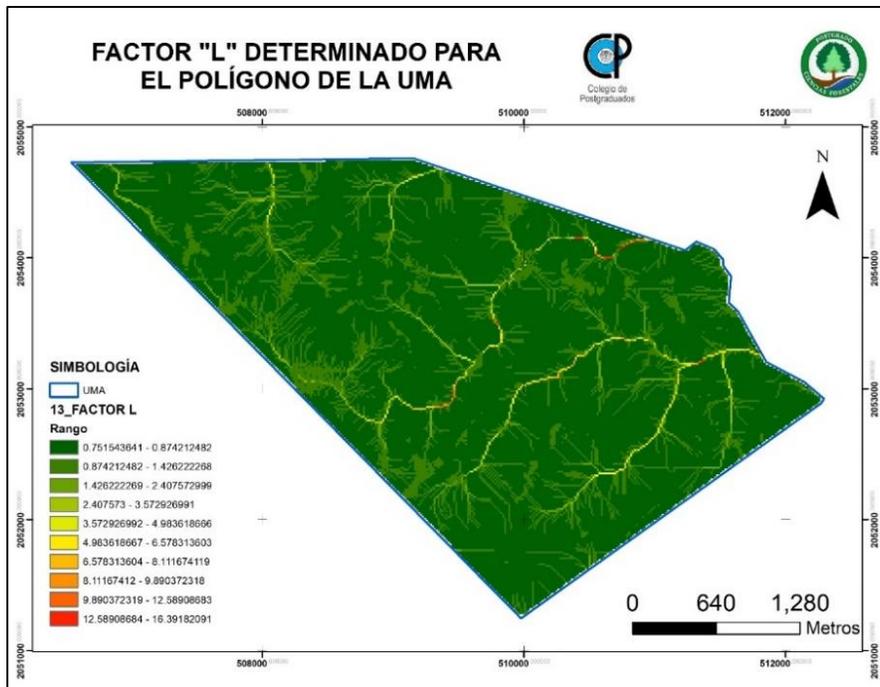


Figura 27. Valores de coeficiente “L” obtenidos. Elaborado a partir de datos del Modelo Digital de Elevación de INEGI con resolución de 15 m.

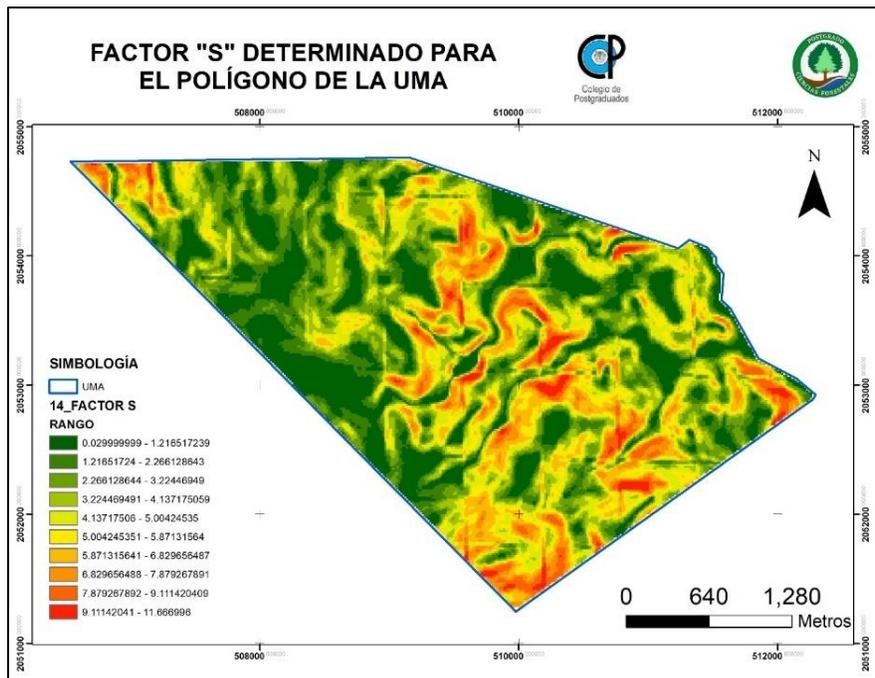


Figura 28. Valores de coeficiente “S” determinados. Elaborado a partir de datos del Modelo Digital de Elevación de INEGI con resolución de 15 m.

V.3.4 Valor C de la USLE

Con ayuda de los datos de uso de suelo y vegetación serie VI de INEGI se generó mapa en formato *raster* mostrado en la 0.

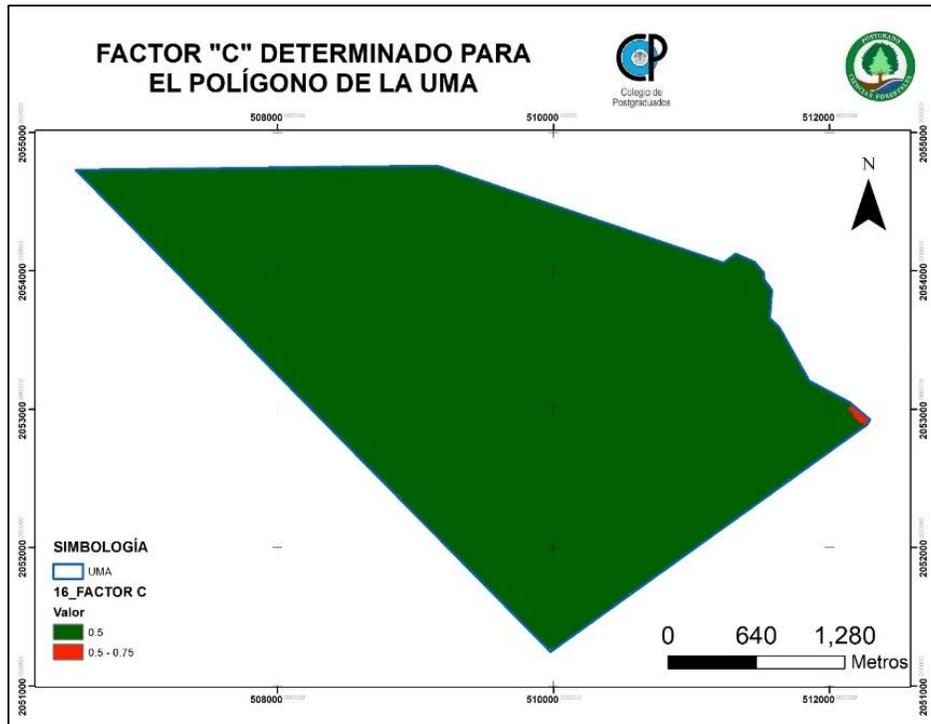


Figura 29. Valores de coeficiente "C" determinados. Elaboración a partir de datos de Uso de suelo y vegetación serie VI de INEGI y (Montes, et al., 2011).

V.3.5 Erosión en la UMA por medio de la USLE

El valor definitivo de la erosión determinado por la USLE se presenta en la 0.

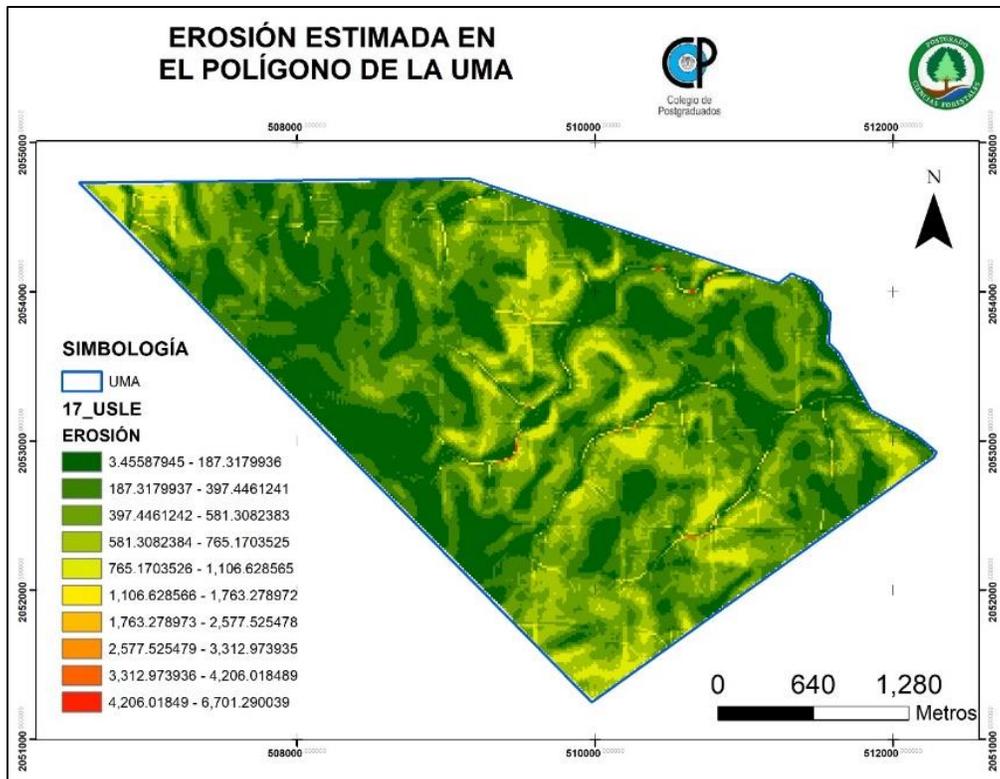


Figura 30. Erosión estimada en el polígono de la UMA. Clasificado de acuerdo a lo propuesto por Montes et al. (2011).

V.4 Zonas para obras de conservación de suelos

De la reclasificación de la erosión en dos categorías: (1) aquellas con erosión superior a $150 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$, rango que considera las categorías: alta, muy alta y extrema de acuerdo a y (2) aquellas debajo de ese umbral; y la eliminación de áreas menores a 1 ha se obtuvo el mapa mostrado en la 0.

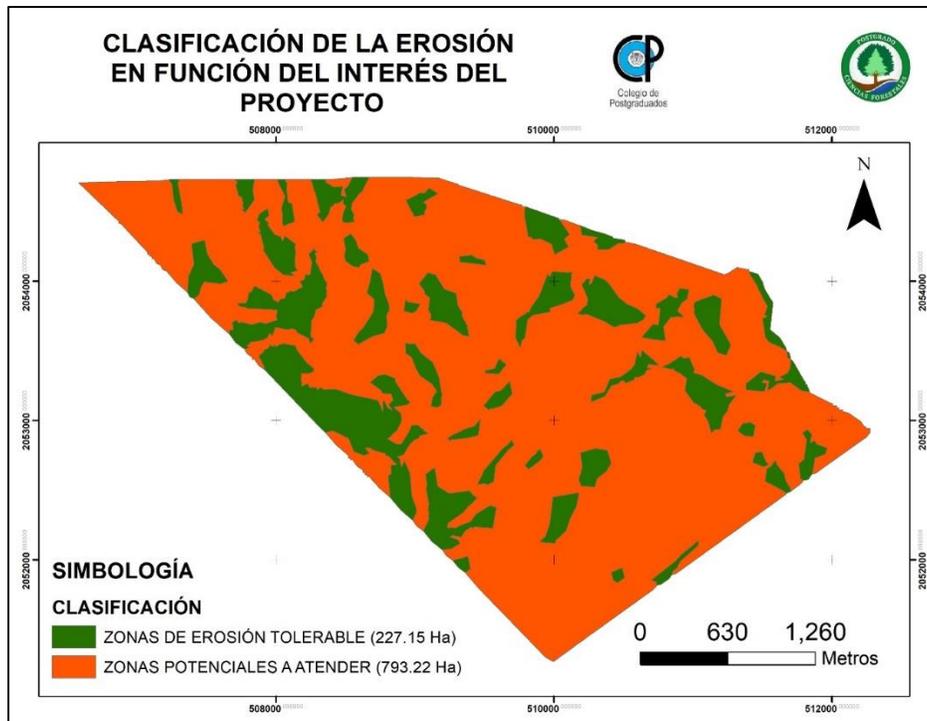


Figura 31. Clasificación de zonas potenciales para realizar obras de conservación de suelos y agua dentro del polígono de la UMA. Reagrupado tomando algunos criterios de Montes et al., (2011).

Como se puede ver en la 0, idealmente la superficie que requiere obras de conservación de suelos es bastante grande; del orden de 793.22 ha, pero resultaría en una inversión de tiempo y dinero bastante amplia.

Dada la gran cantidad de superficie y como se planteó previamente, se sobrepuso dicha capa con la obtenida en la supervisión clasificada de modo que solo se realizarán obras de suelos en las áreas con baja cobertura vegetal, resultando en la obtención del mapa y las superficies presentadas en la 0.

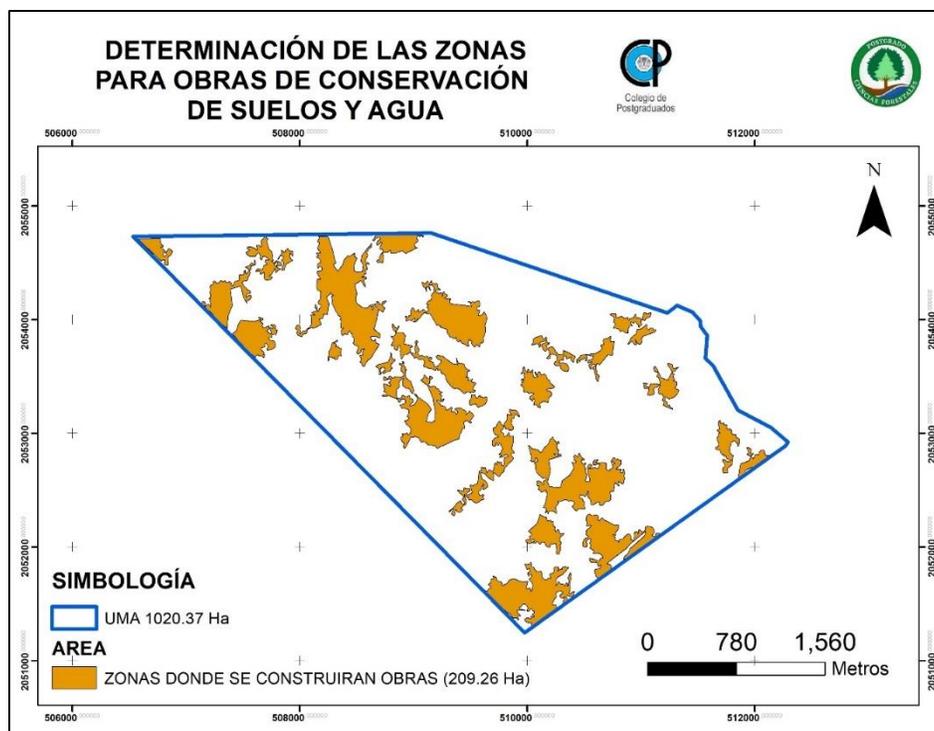


Figura 32. Áreas definitivas propuestas para obras de conservación de suelos y agua.

El resultado final muestra una superficie de 209.26 ha. Si bien no se realizan obras en toda la superficie que así lo requiere se busca que por lo menos sea en aquellas zonas descubiertas o con poca vegetación, con el fin de reducir los procesos erosivos en el mediano plazo; y, que, en consecuencia, ayuden a la acumulación de materia orgánica, retención de azolves y por consecuencia a la infiltración de agua y mejore las condiciones para un mayor establecimiento de vegetación.

V.4.1 Barreras de piedra acomodada

La superficie en la cual se propone construir obras de conservación de suelos y agua es de 209.26 ha. Las obras elegidas fueron barreras de piedra acomodada en curvas a nivel dada la gran cantidad presente de dicho material en la UMA.

La primera aproximación de las barreras de piedra acomodada se realizó calculando los intervalos horizontal y vertical de acuerdo a lo propuesto por CONAFOR, obteniéndose un intervalo vertical calculado de 3.24 m y el intervalo horizontal de 12.51 m y realizando las curvas de nivel en esas distancias, pero solo en las áreas

de alta erosión previamente calculadas para cuantificar la cantidad de obra a ejecutar.

El resultado fue 196.68 Km de barreras como se muestra en la 0.

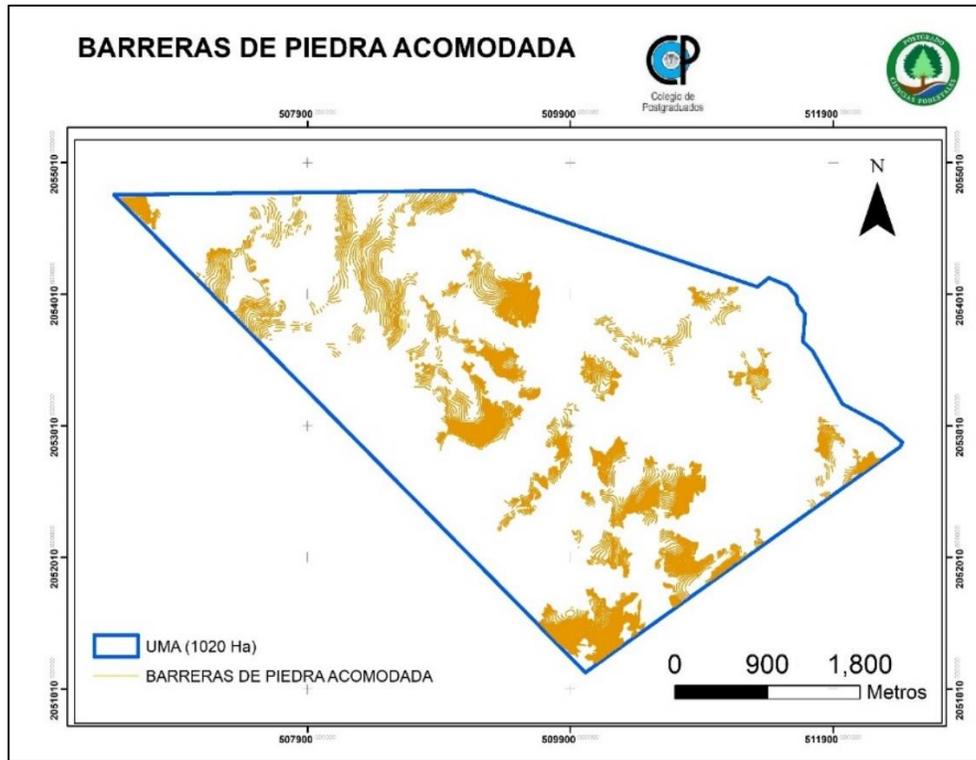


Figura 33. Barreras de piedra acomodada determinadas para la UMA. Intervalo horizontal de 12.51 m y intervalo vertical de 3.24 m.

Como se puede apreciar la cantidad de obra era demasiada y requeriría 17, 701.20 m³ de piedra si se consideran barreras de 0.3 m de alto por 0.3 m de ancho. Es decir que se deberían colectar 84.89 m³ de piedra por ha en los sitios donde se pretende realizar las obras.

Por lo anterior, se ajustó el intervalo horizontal y vertical a 4 veces lo originalmente determinado, obteniéndose un resultado más viable de construir en campo como se muestra en la 0.

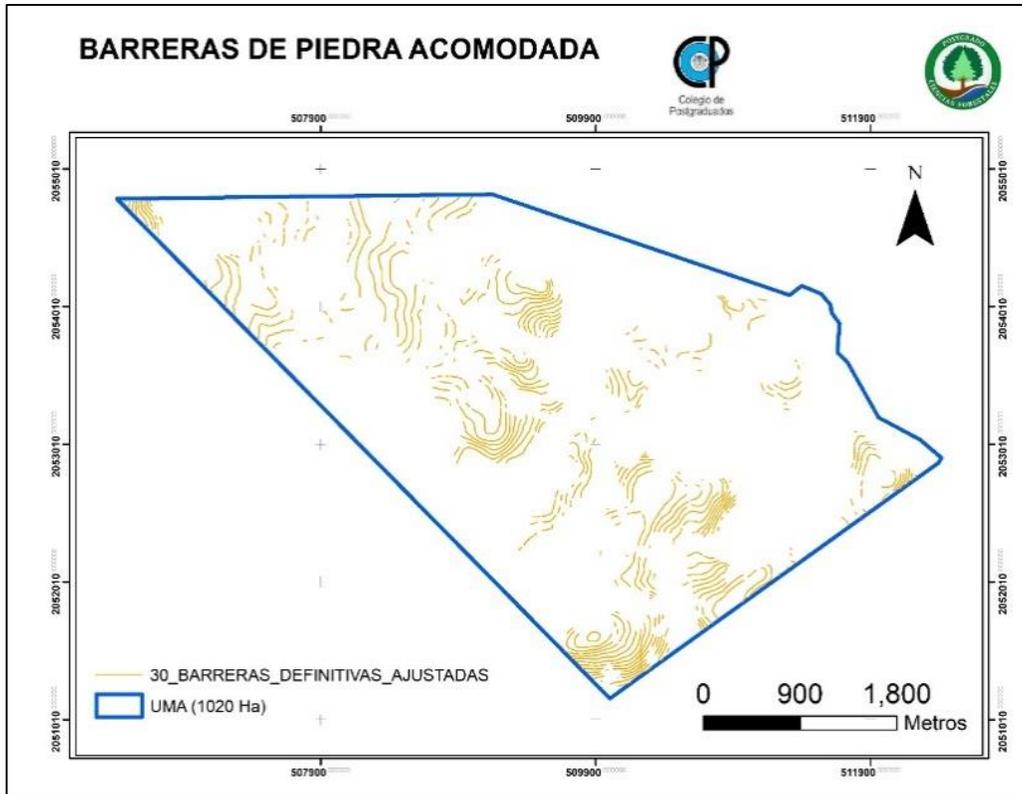


Figura 34. Ubicación de las barreras de piedra acomodada ajustadas. Intervalo horizontal de 50.04 m y intervalo vertical de 12.96 m.

Con este nuevo ajuste se determinó que se construirán 49.47 Km de barreras; es decir, 4,452.3 m³ de obra. Esto ajusta a solo 21.27 m³ de piedra por ha a conseguir en los sitios de obras.

Las dimensiones de las barreras serán 0.3 de alto por 0.3 de ancho.

El ajuste previamente mencionado y que origina estas nuevas cantidades nos permite acercarnos a un volumen de obra más fácilmente realizable y demandar una menor cantidad de piedra, ya que si bien es abundante la presencia de la misma se consideraba inviable la cantidad original de acuerdo a los recorridos y experiencia en campo.

V.4.2 Escorrentías para obras de conservación de suelos

Para determinar las escorrentías en las cuales se realizarían obras de conservación de suelos, se modelaron las mismas con ayuda del MDE obteniéndose el resultado mostrado en la 0.

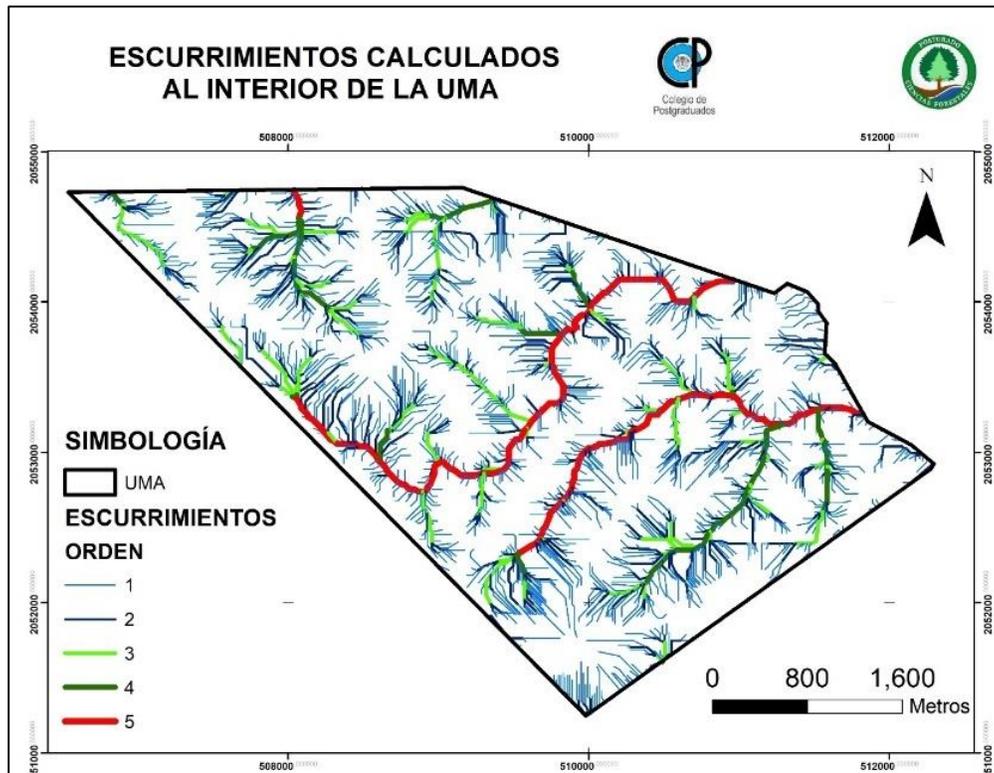


Figura 35. Escorrentías calculadas al interior del polígono de la UMA, en diferentes colores se representa el orden jerárquico de cada una. Determinados a partir de MDE de INEGI con resolución de 15 m.

Cabe resaltar que en la 0 se calcularon el total de escorrentías en la UMA, pero para los fines de este trabajo solo se consideraron las de 3er orden o superior ya que las obras de conservación de suelo y agua que se consideraron son las presas de gaviones.

Adicionalmente, de la determinación de las microcuencas se obtuvo el resultado mostrado en la 0.

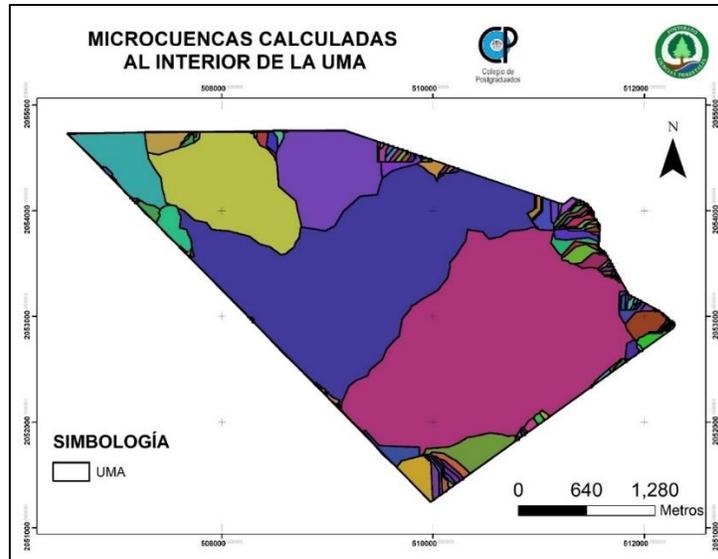


Figura 36. Microcuencas calculadas al interior del polígono de la UMA, cada color representa una distinta.

En la 0, se presenta el mapa solo de las microcuencas que superaron el umbral superior a las 5 ha, las cuales se consideraron de importancia para las obras de conservación de suelos y agua en escorrentías.

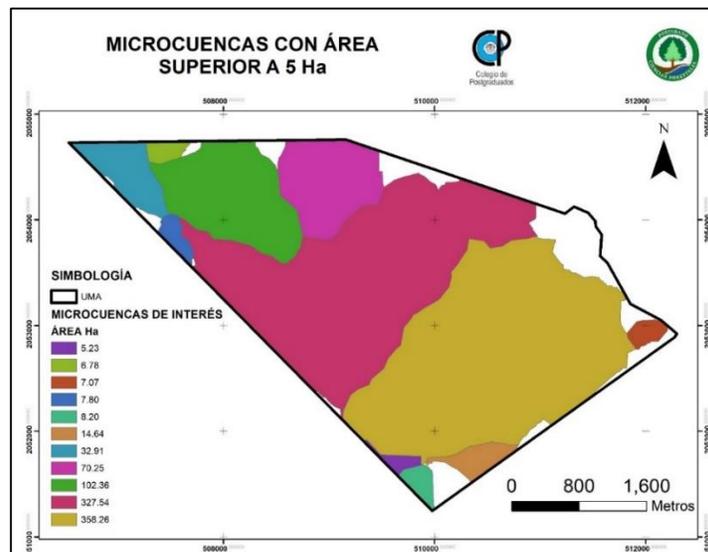


Figura 37. Microcuencas de interés con área superior a 5 ha.

Por último, al sobreponer (intersecar) las capas de zonas de alta erosión, microcuencas superiores a 5 ha y cauces de 3^{er} orden o superior se obtuvieron las siguientes secciones de cauces mostradas en la 0.

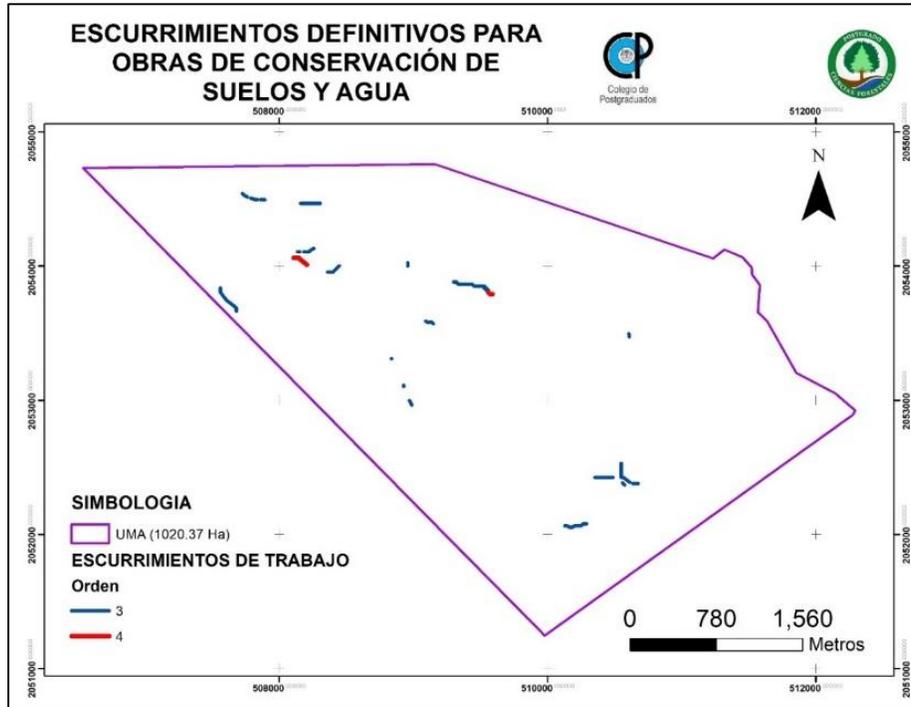


Figura 38. Secciones de escorrentías propuestas para obras de conservación de suelos y agua.

Se obtuvieron 48 secciones de cauces de tercer orden y 4 de cuarto orden. Todas las secciones se verificaron en campo para saber en cuales era viable construir obras de conservación de suelos en función de las características propias de pendiente, ancho de la sección, altura efectiva para las presas, etc.

V.4.3 Presas de gaviones

De las revisiones en campo de las condiciones particulares de los sitios potenciales para construcción de presas de gaviones, se determinó que solo era viable la construcción de 34 presas, por las razones que se indican en el subcapítulo siguiente.

V.4.3.1 Ubicación de las presas de gaviones propuestas

Los criterios definitivos de la viabilidad de construcción fueron: la presencia de piedra, ancho de la sección (superior a 4 m), altura de la sección en el punto más profundo (superior a 2 m), evitar zonas con curvatura y acceso para el traslado de materiales. Las coordenadas para la ubicación de los sitios de construcción de las presas de gaviones se muestran en el 0.

Cuadro 6. Ubicación de las presas de gaviones propuestas.

Presas	Coordenadas		Presas	Coordenadas		Presas	Coordenadas	
	X	Y		X	Y		X	Y
PG 1	507529	2053876	PG 13	509383	2053863	PG 25	508182	2054522
PG 2	507544	2053844	PG 14	509408	2053849	PG 26	507777	2054530
PG 3	507670	2053672	PG 15	509440	2053849	PG 27	507882	2054454
PG 4	507644	2053638	PG 16	509453	2053840	PG 28	507930	2054440
PG 5	508902	2053105	PG 17	509499	2053827	PG 29	507964	2054433
PG 6	508937	2053043	PG 18	508442	2054012	PG 30	510695	2052370
PG 7	509000	2053000	PG 19	508426	2053989	PG 31	510643	2052369
PG 8	508969	2052983	PG 20	508403	2053988	PG 32	510257	2052086
PG 9	508959	2054077	PG 21	508376	2053986	PG 33	510218	2052080
PG 10	508962	2054029	PG 22	508222	2054132	PG 34	510136	2052089
PG 11	509136	2053587	PG 23	508275	2054488			
PG 12	509084	2053609	PG 24	508200	2054500			

En la 0 se muestra un mapa con la ubicación de cada una de las presas de gaviones propuestas con sus correspondientes cauces sobre los cuales se construirían.

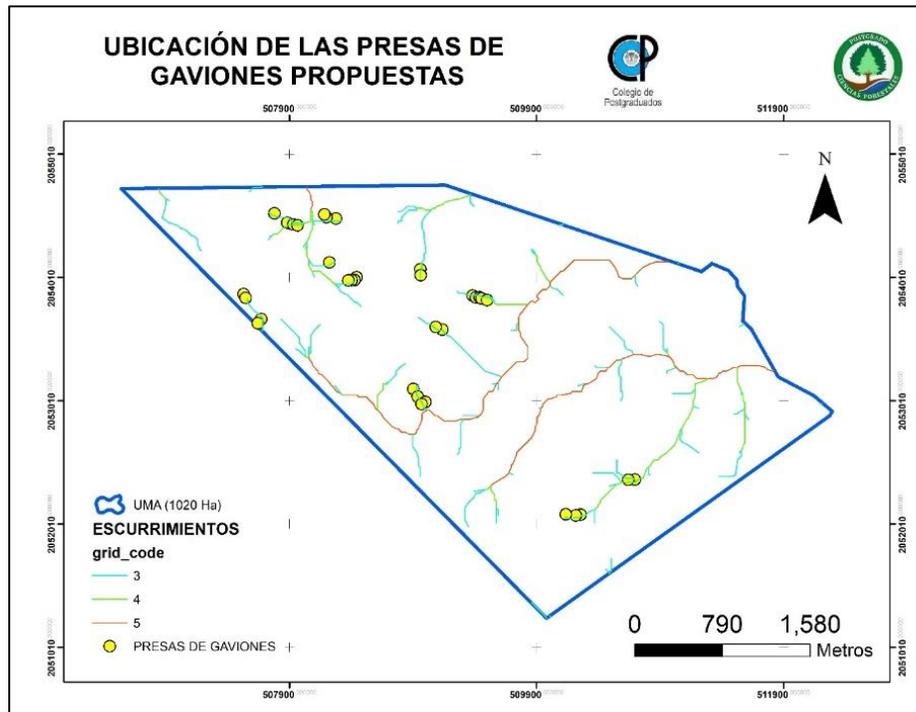


Figura 39. Sitios definitivos propuestos para construcción de presas de gaviones. Se puede apreciar adicionalmente, el orden del cauce en el que se encuentran.

Una vez que se determinaron las áreas de captación de lluvia de cada una de las presas de gaviones propuestas se pudo calcular el gasto máximo de diseño. En la 0 se ejemplifica el resultado de la determinación de dichas áreas de captación.

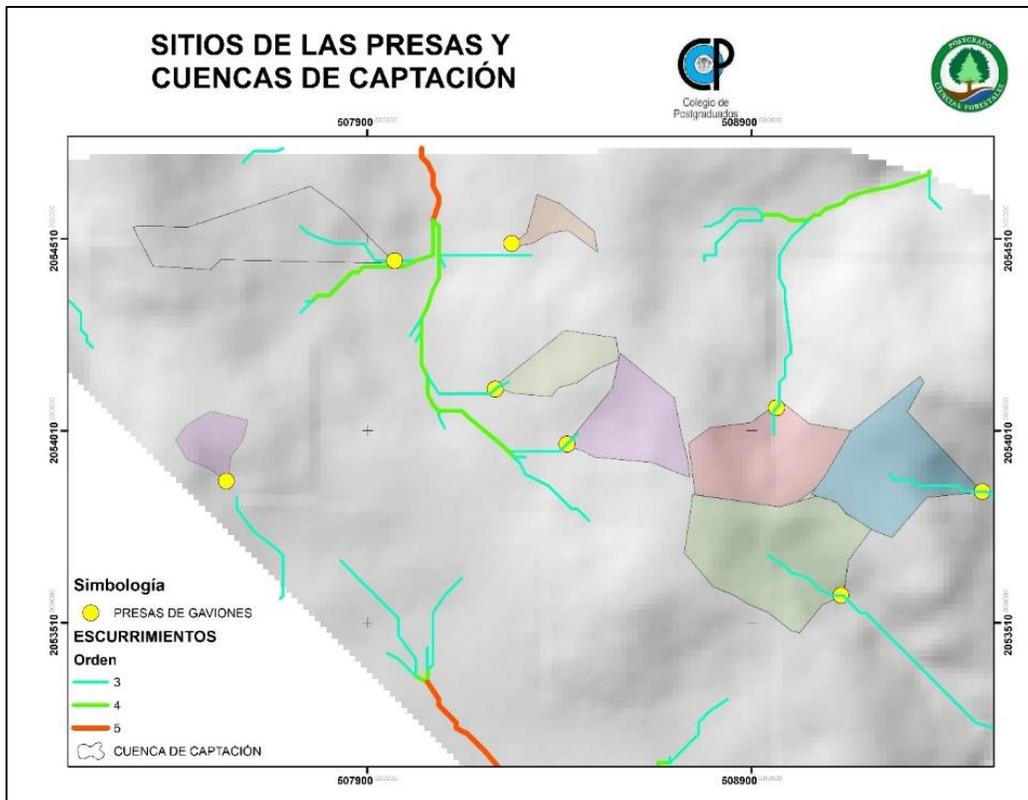


Figura 40. Microcuencas de captación de los sitios para presas de gaviones, calculadas en ArcGIS con ayuda del Modelo Digital de Elevación.

Como se mencionó en el apartado de Materiales y Métodos se utilizaron datos de las Normales climatológicas circundantes a la UMA para realizar una ponderación de lluvia máxima (Figura 41) y crear sus respectivas isoyetas (Figura 42).

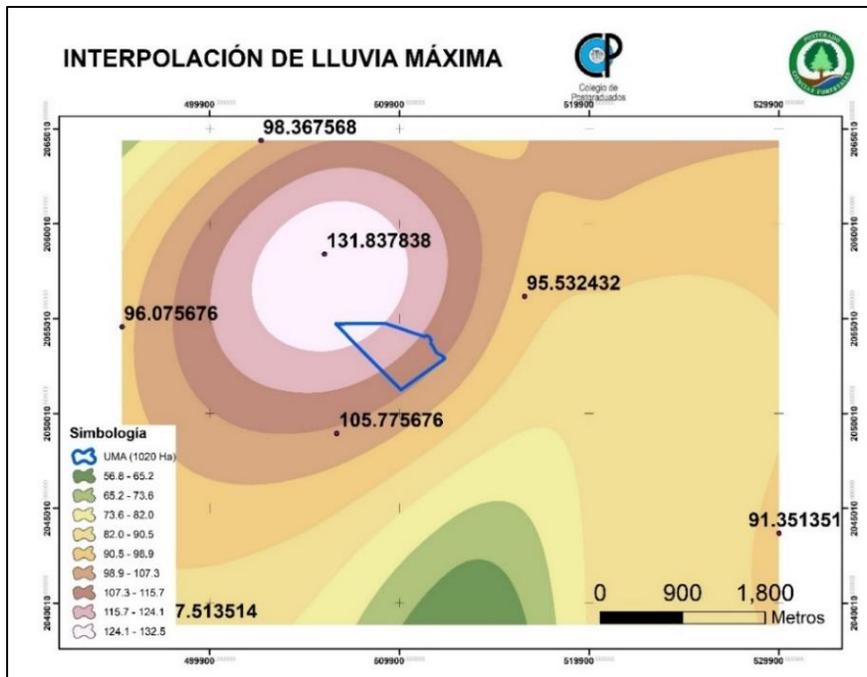


Figura 41. Interpolación de datos de lluvia máxima en 24 h. Elaboración a partir de datos de Normales climatológicas de CONAGUA.

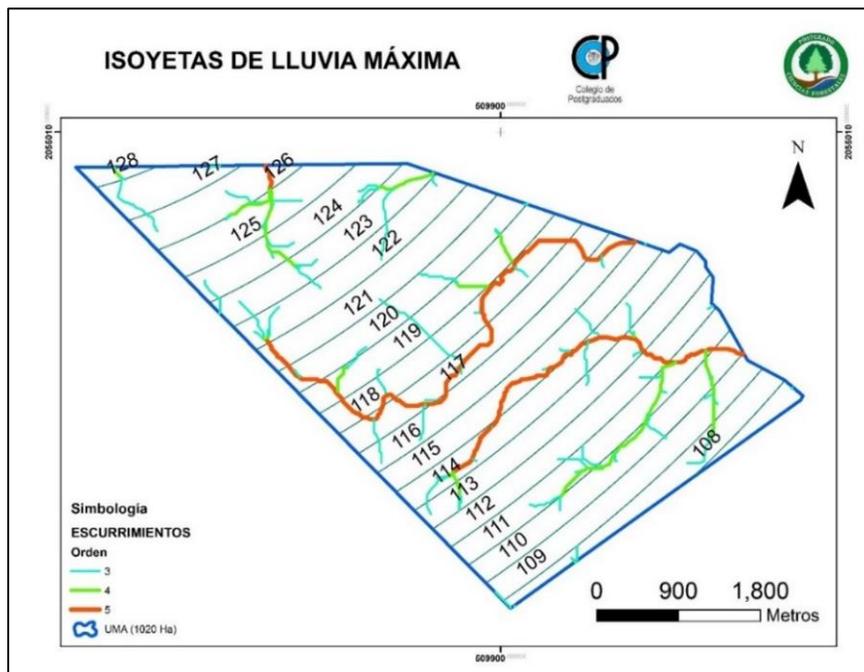


Figura 42. Isoyetas de lluvia máxima en 24 h para la UMA. Calculadas a partir de datos de normales climatológicas de CONAGUA 1950 – 2010.

Con todos los datos anteriores y el procedimiento previamente expuesto se hicieron las propuestas de diseño de presas de gaviones y los cálculos de estabilidad. En el 0 se presenta un ejemplo de las medidas y cálculos de estabilidad de una de ellas.

Cuadro 7. Ejemplo de medidas de la presa de gaviones 1

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES 1			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	6	2	0.5
T1	12.5	1.5	1
TVI	6.5	1	1
TVD	5.5	1	1
VERTEDOR	6	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, TVI: Tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

En el 0 se presenta un ejemplo de los cálculos de estabilidad de una de las presas diseñadas.

Cuadro 8. Ejemplo de resultados de los cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 1

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES 1							
Coefficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		36.75	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		125	mm	Peso de la lámina de agua		0.14	ton
Área de captación		2.01	ha	Superficie de mojado		1.15	m ²
Gasto		0.35	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		0.575	m
Longitud del vertedor		6	m	Empuje hidrostático		0.7935	ton
Carga sobre el vertedor		0.12	m	Peso de la sección crítica unitaria		3	ton
Libre bordo		0.88	m	Condición del núcleo central	3.52	≤	4.19
Centro de gravedad	Xm	9.63	m	Factor al deslizamiento	2.36	≥	0.79
	Ym	1.20	m	Factor al volteamiento	3.84	≥	1
	Zm	0.71	m	Comprobación de fuerzas resultantes	1.33	≥	1.15

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z

El resto de los cálculos de las 34 presas se presentan en los anexos correspondientes.

El resultado final posterior al diseño de las presas es la propuesta de la construcción 34 presas de gaviones con un volumen acumulado de 1582.125 m³.

VI. CONCLUSIONES

En el caso de las obras de conservación de suelos y agua se determinaron las áreas mínimas para realizar obras (209.26 ha) y 34 sitios dentro de cauces de 3^{er} y cuarto orden, los tipos de las mismas (muros de piedra acomodada y gaviones) y volúmenes a construir (4,452.3 m³ de barreras de piedra acomodada y 1582.125 m³ de gaviones) en función de los materiales disponibles (roca) en la UMA.

Se espera que con la conjunción de acciones de reforestación y obras de conservación de suelo y agua se reduzcan los niveles de erosión, mejore la cobertura vegetal, aumente la infiltración de agua y aumente la disponibilidad de alimento para las especies de fauna presentes.

En caso de aumentar las poblaciones de fauna presentes, y considerando una buena determinación de las mismas, es posible aumentar las tasas de aprovechamiento; lo cual impactará en el ingreso económico de la comunidad y funcionará como un aliciente para mantener dicha zona con fines de conservación de flora y fauna.

En este caso en particular se pudo corroborar que los sistemas de información geográfica son una gran herramienta de planeación para determinar acciones respecto a la restauración ambiental de ecosistemas; sin embargo, se resalta que es indispensable realizar trabajos de campo que permitan verificar la viabilidad de los mismos, confirmar los resultados preliminares y en general ajustarlos a las condiciones particulares de cada sitio con el fin de que sean lo más realistas posibles.

Se resalta también, que los datos de los SIG y los determinados por la aplicación de la metodología de la literatura son la base sobre la cual se sugiere realizar los ajustes necesarios, de tal manera que las obras propuestas sean completamente viables de realizar y se enfoquen principalmente en aquellas zonas de mayor urgencia, en función de la degradación del ecosistema. Una segunda etapa del programa de mejoramiento ambiental se podría enfocar en aquellas zonas y actividades que, si bien se descartaron por ser de menor urgencia, también

requieren acciones y permitan complementar los trabajos ya realizados y en general mejorar las condiciones de la UMA.

VII. LITERATURA CITADA

Acosta O., A. P. (2017). Elaboración de una clasificación no supervisada para generar las coberturas vegetales de una imagen Lansad 7 - ETM usando programas R Y PCI Geomatics con el fin de comparar los resultados obtenidos. Bogotá, D.C., Colombia: Universidad Militar Nueva Granada. Recuperado el 13 de Junio de 2022, de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/17262/AcostaOvalleAndreaPatricia2017.pdf?sequence=2>.

Arango G., M., Branch B., J., y Botero F., V. (2005). Clasificación no supervisada de coberturas vegetales sobre imágenes digitales de sensores remotos: "LANSAD ETM+". Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín, 2612 - 2634. Recuperado el 13 de Junio de 2021, de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v58n1/a04v58n1.pdf>.

Becerra M., A. (1999). Escorrentía, Erosión y Conservación de Suelos (1ra ed.). Texcoco, Estado de México, México: Universidad Autónoma Chapingo. Recuperado el 30 de Marzo de 2022.

Bello-Lara, A. 2000. Metodología para la evaluación técnica de la Reforestación. Memoria de Experiencia Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, Estado de México.

Boyás, D. J. C. 1989. Regionalización ecológica del estado de Morelos. Campo Experimental Zacatepec, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Informe Técnico.

Brower, J. E., J. H. Zar y C. N. Von Ende. 1997. Field and Laboratory Methods for General Ecology. 4th edition. McGraw-Hill. Boston, MA USA. 273 p.

Chuvienco S., E. (2002). Teledetección ambiental: La observación de la tierra desde el espacio (1 ed.). Barcelona, España: Ediciones Ariel. Recuperado el 13 de Junio de 2022.

CONABIO, y UAEM. (2006). La diversidad biológica de Morelos (1ra ed.). (T. Contreras-Macbeath, F. Jaramillo Monroy, & J. C. Boyás Delgado, Edits.) Tlalpan, Ciudad de México, México. Recuperado el 07 de Marzo de 2022, de <https://www.cbd.int/doc/world/mx/mx-nr-ctr-p3-es.pdf>.

CONAFOR. (2009). Manual técnico para beneficiarios: Manejo de Vida Silvestre (1 ed.). Guadalajara, Jalisco, México: Comisión Nacional Forestal. Recuperado el 13 de Junio de 2022, de <https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/manejo-de-vida-silvestre.pdf>.

CONAFOR. (2010). Restauración de Ecosistemas Forestales Guía básica para comunicadores (1ra ed.). Zapopan, Jalisco, México: Comisión Nacional Forestal. Recuperado el 10 de Mayo de 2022, de <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/7/579Restauraci%C3%B3n%20de%20ecosistemas%20forestales.pdf>.

CONAFOR. (2018). Protección, conservación y restauración de suelos. Manual de obras y prácticas (5ta ed.). Zapopan, Jalisco, México: Comisión Nacional Forestal. Recuperado el 10 de Mayo de 2022, de <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/20/1310Manual%20de%20Conservacion%20de%20Suelos%20.pdf>.

Cortés T., H. G. (1991). Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados. Texcoco, Estado de México, México: Colegio de Posgraduados.

Franco L., J. (2011). Ecología y Conservación: Laboratorio y campo. Iztapalapa, Ciudad de México, México: Trillas. Recuperado el 1 de octubre de 2022.

García A., E. M. (2013). Técnicas de remediación de suelos (Vol. 1 Tratamientos físicos, químicos y térmicos). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Lee K., N. (2001). Sustainability, Concept and Practice of, (Vol. 5). San Diego, USA: Academic Press. Recuperado el 22 de Agosto de 2022.

Magurran, A. E. (1988). Ecological diversity and its measurement. New Jersey: Princeton University Press.

Montes L., M. A., Uribe A., E. M., & García C., E. (Enero-Marzo de 2011). Mapa Nacional de Erosión Potencial. (I. M. Agua, Ed.) Tecnología y Ciencias del Agua, II(1), 5-17. Recuperado el 30 de Marzo de 2022, de <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/543966>.

Mostacedo, B. y Fredericksen, T. S. (2000). Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. Santa Cruz, Bolivia: Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (Bolfor). Recuperado el 2022 de septiembre de 04, de <http://www.bio-nica.info/biblioteca/mostacedo2000ecologiavegetal.pdf>.

Prieto R., J. A., y Goche T., J. R. (2016). Las reforestaciones en México. Problemática y alternativas de solución (1ra ed.). Durango: Universidad Juárez del Estado de Durango. Recuperado el 10 de Mayo de 2022, de http://forestales.ujed.mx/forestales/es/contenido/eventos_documentos/LIBRO_REF ORESTACIONES_EN_MEXICO.pdf.

SAGARPA y COLPOS. (2017). Control de cárcava: presas de gaviones (Segunda ed.). (C. d. Postgraduados, Ed.) Ciudad de México, México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado el 07 de Septiembre de 2022, de <https://es.slideshare.net/demetriofernandez313/presas-de-gaviones-2da-ed>.

SEMARNAT (2008). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Edición 2008. Compendio de Estadísticas Ambientales. México.

Sánchez, O., Peters, E., Márquez-Huitzil, R., Vega, E., Portales, G., Valdez, M., y Azuara, D. (2005). Temas sobre restauración ecológica (1ra ed.). (INE y

SEMARNAT, Eds.) Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado el 13 de Junio de 2022.

Sarukhán, J., Koleff, P., Carabias, J., Soberón, J., Dirzo, R., Llorente-Bousquets, J., y De la Maza, J. (2009). Capital Natural de México, Síntesis, Conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad. Tlalpan, Ciudad de México, México: Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. Recuperado el 13 de Junio de 2022.

VIII. ANEXOS

VIII.1 Tablas de lluvia máxima para cada una de las estaciones meteorológicas que rodean a la UMA.

Cuadro 9. Datos de lluvia máxima de la Estación El Limón.

EL LIMON							
REGISTROS DE LLUVIA				ORDEN			
Año	Lluvia máxima (mm)	Año	Lluvia máxima (mm)	Año	Precipitación ordenada (mm)	Año	Precipitación ordenada (mm)
1978	19.3	1996	97.8	2003	120.5	1990	56.4
1979	33.3	1997	40.3	1996	97.8	2007	55.2
1980	43.5	1998	48.1	2005	85.3	2011	54.9
1981	57.4	1999	69.5	2010	82.6	2013	54.8
1982	61.1	2000	40.5	2012	78.2	1987	53
1983	37.1	2001	66.6	1985	76.8	2006	52.1
1984	29.6	2002	60.2	1995	74.5	1992	48.6
1985	76.8	2003	120.5	1989	73.5	1998	48.1
1986	44	2004	70.2	2008	71.6	1986	44

1987	53	2005	85.3	2004	70.2	1980	43.5
1988	43.2	2006	52.1	2009	69.7	1988	43.2
1989	73.5	2007	55.2	1999	69.5	2000	40.5
1990	56.4	2008	71.6	2001	66.6	1997	40.3
1991	34.5	2009	69.7	1993	64.2	1983	37.1
1992	48.6	2010	82.6	1994	62.8	1991	34.5
1993	64.2	2011	54.9	1982	61.1	1979	33.3
1994	62.8	2012	78.2	2002	60.2	1984	29.6
1995	74.5	2013	54.8	1981	57.4	1978	19.3

Fuente: Elaborado a partir de datos de las Normales climatológicas de CONAGUA con datos 1950 – 2010.

Cuadro 10. Datos de lluvia máxima de la Estación la Tlacualera.

La Tlacualera							
REGISTROS DE LLUVIA				ORDEN			
Año	Lluvia máxima (mm)	Año	Lluvia máxima (mm)	Año	Precipitación ordenada (mm)	Año	Precipitación ordenada (mm)
1978	45	1996	90	2011	174	2005	63.5
1979	60	1997	99	2006	109	1995	62
1980	97.7	1998	63.5	2002	100.3	1979	60
1981	68.9	1999	80.9	1997	99	2000	59.5
1982	40	2000	59.5	1980	97.7	2004	59
1983	63.7	2001	51.2	1988	90.5	2008	58.5
1984	54.7	2002	100.3	1996	90	1984	54.7
1985	64	2003	51.9	2010	89.5	1989	52.2
1986	31	2004	59	2013	85	2003	51.9
1987	22.8	2005	63.5	2012	81.2	1991	51.5
1988	90.5	2006	109	1999	80.9	2001	51.2

1989	52.2	2007	70.5	1993	79.2	1994	48.3
1990	42.6	2008	58.5	2007	70.5	1992	46.5
1991	51.5	2009	67.5	1981	68.9	1978	45
1992	46.5	2010	89.5	2009	67.5	1990	42.6
1993	79.2	2011	174	1985	64	1982	40
1994	48.3	2012	81.2	1983	63.7	1986	31
1995	62	2013	85	1998	63.5	1987	22.8

Fuente: Elaborado a partir de datos de las Normales climatológicas de CONAGUA con datos 1950 – 2010.

Cuadro 11. Datos de lluvia máxima de Estación San Pablo Hidalgo.

San Pablo Hidalgo							
REGISTROS DE LLUVIA				ORDEN			
Año	Lluvia máxima (mm)	Año	Lluvia máxima (mm)	Año	Precipitación ordenada (mm)	Año	Precipitación ordenada (mm)
1978	34	1996	56.6	2006	110.8	2002	54.3
1979	43.2	1997	46.6	1983	88.1	2004	53.9
1980	52.5	1998	69.2	2005	87.7	2012	53.7
1981	67.4	1999	52.5	2013	78.8	1986	53.6
1982	35.1	2000	42.9	2003	78.6	1980	52.5
1983	88.1	2001	58.5	2011	78.4	1999	52.5
1984	59.3	2002	54.3	2008	76.4	1997	46.6
1985	65	2003	78.6	1998	69.2	1988	45.9
1986	53.6	2004	53.9	1981	67.4	2010	44.5
1987	39.8	2005	87.7	2007	67.3	1979	43.2
1988	45.9	2006	110.8	1985	65	2000	42.9

1989	29.6	2007	67.3	1995	64.7	1992	41.6
1990	62.3	2008	76.4	1990	62.3	1993	41.2
1991	23.6	2009	55.6	1984	59.3	1987	39.8
1992	41.6	2010	44.5	1994	58.97	1978	34
1993	41.2	2011	78.4	2001	58.5	1982	35.1
1994	58.97	2012	53.7	1996	56.6	1989	29.6
1995	64.7	2013	78.8	2009	55.6	1991	23.6

Fuente: Elaborado a partir de datos de las Normales climatológicas de CONAGUA con datos 1950 – 2010.

Cuadro 12. Datos de lluvia máxima de Estación Tepalcingo.

Tepalcingo							
REGISTROS DE LLUVIA				ORDEN			
Año	Lluvia máxima (mm)	Año	Lluvia máxima (mm)	Año	Precipitación ordenada (mm)	Año	Precipitación ordenada (mm)
1978	53.1	1996	79.3	2007	96.7	2004	61.7
1979	51.5	1997	67.6	1991	94.9	2001	61.2
1980	69	1998	59.6	1982	90.2	1984	61
1981	60	1999	55	2005	83.3	1981	60
1982	90.2	2000	46	2013	83.3	2008	60
1983	45.6	2001	61.2	2012	81.7	1998	59.6
1984	61	2002	59.5	1996	79.3	2002	59.5
1985	50.3	2003	66.8	1987	74.9	1995	57.1
1986	50.9	2004	61.7	1988	73.9	1999	55
1987	74.9	2005	83.3	1990	72.9	1978	53.1
1988	73.9	2006	62.1	1980	69	1992	51.7

1989	46.7	2007	96.7	1993	68.9	1979	51.5
1990	72.9	2008	60	1994	68.2	1986	50.9
1991	94.9	2009	62.6	1997	67.6	1985	50.3
1992	51.7	2010	66.2	2003	66.8	1989	46.7
1993	68.9	2011	38.5	2010	66.2	2000	46
1994	68.2	2012	81.7	2009	62.6	1983	45.6
1995	57.1	2013	83.3	2006	62.1	2011	38.5

Fuente: Elaborado a partir de datos de las Normales climatológicas de CONAGUA con datos 1950 – 2010.

Cuadro 13. Datos de lluvia máxima de Estación Lagunas Rayón.

Lagunas Rayón							
REGISTROS DE LLUVIA				ORDEN			
Año	Lluvia máxima (mm)	Año	Lluvia máxima (mm)	Año	Precipitación ordenada (mm)	Año	Precipitación ordenada (mm)
1978	54.5	1996	45.4	1981	92	1983	51.2
1979	51	1997	40	1990	91	1979	51
1980	70	1998	73.5	2001	81	1987	51
1981	92	1999	64.8	2002	81	1991	50.8
1982	40.2	2000	46.7	1998	73.5	1984	49
1983	51.2	2001	81	1980	70	1989	47
1984	49	2002	81	2005	67	2000	46.7
1985	46	2003	56	2012	67	1985	46
1986	61	2004	46	2010	65.8	1992	46
1987	51	2005	67	1999	64.8	2004	46
1988	53	2006	44	2013	62	1996	45.4

1989	47	2007	41	1986	61	2008	45
1990	91	2008	45	2003	56	2006	44
1991	50.8	2009	55	2009	55	2011	43
1992	46	2010	65.8	1978	54.5	1994	41
1993	52	2011	43	1995	53.5	2007	41
1994	41	2012	67	1988	53	1982	40.2
1995	53.5	2013	62	1993	52	1997	40

Fuente: Elaborado a partir de datos de las Normales climatológicas de CONAGUA con datos 1950 – 2010.

Cuadro 14. Datos de lluvia máxima de Estación Moyotepec.

Moyotepec							
REGISTROS DE LLUVIA				ORDEN			
Año	Lluvia máxima (mm)	Año	Lluvia máxima (mm)	Año	Precipitación ordenada (mm)	Año	Precipitación ordenada (mm)
1978	20	1996	23	2009	102	1987	50
1979	62	1997	56.5	2000	96.4	2011	49.5
1980	54	1998	80	1999	86	2013	48
1981	55	1999	86	1998	80	1992	47.4
1982	60.1	2000	96.4	1985	78.5	1986	46.6
1983	51.5	2001	42	1979	62	1995	43
1984	42	2002	32	2008	60.5	2006	43
1985	78.5	2003	28	1982	60.1	1984	42
1986	46.6	2004	34	2007	59	2001	42
1987	50	2005	58.5	2005	58.5	1990	40.7
1988	58	2006	43	1988	58	1993	40

1989	26.5	2007	59	1997	56.5	2004	34
1990	40.7	2008	60.5	2010	56	2012	34
1991	55.5	2009	102	1991	55.5	2002	32
1992	47.4	2010	56	1981	55	2003	28
1993	40	2011	49.5	1994	54.3	1989	26.5
1994	54.3	2012	34	1980	54	1996	23
1995	43	2013	48	1983	51.5	1978	20

Fuente: Elaborado a partir de datos de las Normales climatológicas de CONAGUA con datos 1950 – 2010.

Cuadro 15. Datos de lluvia máxima Estación Huautla.

Huautla							
REGISTROS DE LLUVIA				ORDEN			
Año	Lluvia máxima (mm)	Año	Lluvia máxima (mm)	Año	Precipitación ordenada (mm)	Año	Precipitación ordenada (mm)
1978	57.7	1996	62.2	2006	106	2003	56.5
1979	55.3	1997	29	1985	77.5	1982	55.6
1980	58.7	1998	58.7	1991	73.5	1983	55.6
1981	62.5	1999	21	2008	72.8	2013	55.4
1982	55.6	2000	48	1995	70.5	1979	55.3
1983	55.6	2001	66	2002	70.5	1990	55.3
1984	47	2002	70.5	1992	68.4	2012	53
1985	77.5	2003	56.5	2009	67	1994	52.5
1986	38.7	2004	59.2	2001	66	1989	49.3
1987	45.5	2005	59.2	2007	65.2	2011	48.4
1988	57.3	2006	106	1981	62.5	2000	48

1989	49.3	2007	65.2	1996	62.2	1984	47
1990	55.3	2008	72.8	2004	59.2	2010	47
1991	73.5	2009	67	2005	59.2	1987	45.5
1992	68.4	2010	47	1980	58.7	1986	38.7
1993	35.2	2011	48.4	1998	58.7	1993	35.2
1994	52.5	2012	53	1978	57.7	1997	29
1995	70.5	2013	55.4	1988	57.3	1999	21

Fuente: Elaborado a partir de datos de las Normales climatológicas de CONAGUA con datos 1950 – 2010.

VIII.2 Cálculos de estabilidad y medidas de cada una de las presas de gaviones propuestas

Cuadro 16. Ejemplo de medidas de la presa de gaviones 1.

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	6	2	0.5
T1	12.5	1.5	1
TVI	6.5	1	1
TVD	5.5	1	1
VERTEDOR	6	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, TVI: tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

Cuadro 17. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 1.

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES 1							
Coeficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		36.75	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		125	mm	Peso de la lámina de agua		0.14	ton
Área de captación		2.01	ha	Superficie de mojado		1.15	m ²
Gasto		0.35	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		0.575	m
Longitud del vertedor		6	m	Empuje hidrostático		0.7935	ton
Carga sobre el vertedor		0.12	m	Peso de la sección crítica unitaria		3	ton
Libre bordo		0.88	m	Condición del núcleo central	3.52	≤	4.19
Centro de gravedad	Xm	9.63	m	Factor al deslizamiento	2.36	≥	0.79
	Ym	1.20	m	Factor al volteamiento	3.84	≥	1
	Zm	0.71	m	Comprobación de fuerzas resultantes	1.33	≥	1.15

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z

Cuadro 18. Dimensiones de la presa de gaviones 2.

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	4	2	0.5
T1	9.5	1.5	1
TVI	4.5	1	1
TVD	6.5	1	1
VERTEDOR	4	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, T2 = tendido 2, T3 = tendido 3, TVI: tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

Cuadro 19. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 2.

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES 2							
Coefficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		29.25	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		125	mm	Peso de la lámina de agua		0.20	ton
Área de captación		2.32	ha	Superficie de mojado		1	m ²
Gasto		0.40	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		0.5	m
Longitud del vertedor		4	m	Empuje hidrostático		0.6	ton
Carga sobre el vertedor		0.17	m	Peso de la sección crítica unitaria		3	ton
Libre bordo		0.83	m	Condición del núcleo central	3.15	≤	4.27
Centro de gravedad	Xm	7.88	m	Factor al deslizamiento	2.40	≥	0.6
	Ym	1.27	m	Factor al volteamiento	6.90	≥	1
	Zm	0.69	m	Comprobación de fuerzas resultantes	1.33	≥	1.02

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z

Cuadro 20. Dimensiones de la presa de gaviones 3.

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES 3			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	3	3	0.5
T1	4.5	2.5	1
T2	9	2	1
TVI	4.5	1	1
TVD	3.5	1	1
VERTEDOR	3	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, T2 = tendido 2, TVI: tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

Cuadro 21. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 3.

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES 3							
Coeficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		41.75	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		124	mm	Peso de la lámina de agua		0.48	ton
Área de captación		6.48	ha	Superficie de mojado		1.67	m ²
Gasto		1.12	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		0.835	m
Longitud del vertedor		3	m	Empuje hidrostático		1.67334	ton
Carga sobre el vertedor		0.40	m	Peso de la sección crítica unitaria		7.2	ton
Libre bordo		0.60	m	Condición del núcleo central	11.41	≤	15.37
Centro de gravedad	Xm	6.44	m	Factor al deslizamiento	5.76	≥	1.67
	Ym	1.73	m	Factor al volteamiento	5.49	≥	1.00
	Zm	1.03	m	Comprobación de fuerzas resultantes	2.00	≥	1.55

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z

Cuadro 22. Dimensiones de la presa de gaviones 4.

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES 4			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	5	1.5	0.5
T1	6.5	1	1
TVI	4	1	1
TVD	4.5	1	1
VERTEDOR	3	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, TVI: tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

Cuadro 23. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 4.

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES 4							
Coeficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		18.75	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		124	mm	Peso de la lámina de agua		0.51	ton
Área de captación		6.99	ha	Superficie de mojado		0.64	m ²
Gasto		1.20	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		0.32	m
Longitud del vertedor		3	m	Empuje hidrostático		0.24576	ton
Carga sobre el vertedor		0.42	m	Peso de la sección crítica unitaria		2.1	ton
Libre bordo		0.58	m	Condición del núcleo central	1.79	≤	2.61
Centro de gravedad	Xm	6.61	m	Factor al deslizamiento	1.96	≥	0.25
	Ym	1.30	m	Factor al volteamiento	7.11	≥	1
	Zm	0.55	m	Comprobación de fuerzas resultantes	1.00	≥	0.73

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z

Cuadro 24. Dimensiones de la presa de gaviones 5.

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	3	1.5	0.5
T1	7.5	1	1
TVI	5	1	1
TVD	7.5	1	1
VERTEDOR	3	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, TVI: Tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

Cuadro 25. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 5.

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES 5							
Coeficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		22.25	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		119	mm	Peso de la lámina de agua		0.35	ton
Área de captación		4.19	ha	Superficie de mojado		0.83	m ²
Gasto		0.69	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		0.415	m
Longitud del vertedor		3	m	Empuje hidrostático		0.41334	ton
Carga sobre el vertedor		0.29	m	Peso de la sección crítica unitaria		2.1	ton
Libre bordo		0.71	m	Condición del núcleo central	1.84	≤	2.45
Centro de gravedad	Xm	8.12	m	Factor al deslizamiento	1.84	≥	0.41
	Ym	1.49	m	Factor al volteamiento	4.79	≥	1
	Zm	0.53	m	Comprobación de fuerzas resultantes	1.00	≥	0.79

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z

Cuadro 26. Dimensiones de la presa de gaviones 6.

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	3	1.5	0.5
T1	8.5	1	1
TVI	4	1	1
TVD	4.5	1	1
VERTEDOR	3	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, TVI : tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

Cuadro 27. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 6.

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES 6							
Coefficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		19.25	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		119	mm	Peso de la lámina de agua		0.39	ton
Área de captación		4.97	ha	Superficie de mojado		0.95	m ²
Gasto		0.82	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		0.475	m
Longitud del vertedor		3	m	Empuje hidrostático		0.5415	ton
Carga sobre el vertedor		0.33	m	Peso de la sección crítica unitaria		2.1	ton
Libre bordo		0.67	m	Condición del núcleo central	1.97	≤	2.49
Centro de gravedad	Xm	6.26	m	Factor al deslizamiento	1.87	≥	0.54
	Ym	1.35	m	Factor al volteamiento	3.78	≥	1
	Zm	0.53	m	Comprobación de fuerzas resultantes	1.00	≥	0.84

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z

Cuadro 28. Dimensiones de la presa de gaviones 7.

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES 7			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	7	2	1
T1	12.5	1.5	1
TVI	7.5	1	1
TVD	6.5	1	1
VERTEADOR	4	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, TVI: tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

Cuadro 29. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 7.

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES 7							
Coeficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		46.75	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		119	mm	Peso de la lámina de agua		0.35	ton
Área de captación		5.59	ha	Superficie de mojado		1.43	m ²
Gasto		0.92	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		0.715	m
Longitud del vertedor		4	m	Empuje hidrostático		1.22694	ton
Carga sobre el vertedor		0.29	m	Peso de la sección crítica unitaria		4.2	ton
Libre bordo		0.71	m	Condición del núcleo central	5.21	≤	6.07
Centro de gravedad	Xm	9.65	m	Factor al deslizamiento	3.41	≥	1.23
	Ym	1.50	m	Factor al volteamiento	3.62	≥	1.00
	Zm	0.75	m	Comprobación de fuerzas resultantes	1.33	≥	1.20

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z

Cuadro 30. Dimensiones de la presa de gaviones 8.

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	5	2.5	0.5
T1	7.5	2	1
T2	13	1.5	1
TVI	5	1	1
TVD	7.5	1	1
VERTEDOR	5	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, T2 = tendido 2, TVI: tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

Cuadro 31. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 8.

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES 8							
Coeficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		53.25	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		118	mm	Peso de la lámina de agua		0.32	ton
Área de captación		6.05	ha	Superficie de mojado		1.9	m ²
Gasto		0.99	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		0.95	m
Longitud del vertedor		5	m	Empuje hidrostático		2.166	ton
Carga sobre el vertedor		0.27	m	Peso de la sección crítica unitaria		5.7	ton
Libre bordo		0.73	m	Condición del núcleo central	8.46	≤	10.03
Centro de gravedad	Xm	8.85	m	Factor al deslizamiento	4.51	≥	2.17
	Ym	1.75	m	Factor al volteamiento	3.23	≥	1
	Zm	0.82	m	Comprobación de fuerzas resultantes	1.67	≥	1.46

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z

Cuadro 32. Dimensiones de la presa de gaviones 9.

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES 9			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	4	3	1
T1	6.5	2.5	1
T2	10.5	2	1
TVI	4.5	1	1
TVD	5.5	1	1
VERTEDOR	4	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, T2 = tendido 2, TVI: tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

Cuadro 33. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 9.

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES 9							
Coeficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		59.25	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		122	mm	Peso de la lámina de agua		0.44	ton
Área de captación		7.55	ha	Superficie de mojado		2.5	m ²
Gasto		1.28	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		1.25	m
Longitud del vertedor		4	m	Empuje hidrostático		3.75	ton
Carga sobre el vertedor		0.37	m	Peso de la sección crítica unitaria		9	ton
Libre bordo		0.63	m	Condición del núcleo central	16.77	≤	18.88
Centro de gravedad	Xm	7.10	m	Factor al deslizamiento	7.08	≥	3.75
	Ym	1.99	m	Factor al volteamiento	3.09	≥	1.00
	Zm	1.09	m	Comprobación de fuerzas resultantes	2.00	≥	1.84

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z

Cuadro 34. Dimensiones de la PG10.

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	5.5	2	1
T1	9	1.5	1
TVI	3.5	1	1
TVD	4.5	1	1
VERTEDOR	4	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, T2 = tendido 2, T3 = tendido 3, TVI: tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

Cuadro 35. Cálculos de estabilidad de la PG10.

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES 10							
Coeficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		32.5	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		122	mm	Peso de la lámina de agua		0.25	ton
Área de captación		3.34	ha	Superficie de mojado		1.42	m ²
Gasto		0.57	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		0.71	m
Longitud del vertedor		4	m	Empuje hidrostático		1.20984	ton
Carga sobre el vertedor		0.21	m	Peso de la sección crítica unitaria		4.2	ton
Libre bordo		0.79	m	Condición del núcleo central	5.15	≤	5.94
Centro de gravedad	Xm	5.72	m	Factor al deslizamiento	3.34	≥	1.21
	Ym	1.41	m	Factor al volteamiento	3.65	≥	1.00
	Zm	0.77	m	Comprobación de fuerzas resultantes	1.33	≥	1.20

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z

Cuadro 36. Dimensiones de la presa de gaviones 11.

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES 11			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	5	3	1
T1	9	2.5	1
T2	15.5	2	1
TVI	5	1	1
TVD	9	1	1
VERTEDOR	5	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, T2 = tendido 2, TVI: tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

Cuadro 37. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 11.

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES 11							
Coeficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		82.5	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		120	mm	Peso de la lámina de agua		0.49	ton
Área de captación		11.33	ha	Superficie de mojado		2.2	m ²
Gasto		1.89	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		1.1	m
Longitud del vertedor		5	m	Empuje hidrostático		2.904	ton
Carga sobre el vertedor		0.41	m	Peso de la sección crítica unitaria		9	ton
Libre bordo		0.59	m	Condición del núcleo central	16.25	≤	18.98
Centro de gravedad	Xm	9.20	m	Factor al deslizamiento	7.12	≥	2.90
	Ym	2.03	m	Factor al volteamiento	3.47	≥	1.00
	Zm	1.07	m	Comprobación de fuerzas resultantes	2.00	≥	1.78

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z

Cuadro 38. Dimensiones de la presa de gaviones 12.

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES 12			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	4	3	1
T1	9	2.5	1
T2	14	2	1
TVI	5.5	1	1
TVD	8.5	1	1
VERTEDOR	4	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, T2 = tendido 2, TVI: tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

Cuadro 39. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 12.

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES 12							
Coefficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		76.5	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		121	mm	Peso de la lámina de agua		0.40	ton
Área de captación		6.66	ha	Superficie de mojado		2.3	m ²
Gasto		1.12	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		1.15	m
Longitud del vertedor		4	m	Empuje hidrostático		3.174	ton
Carga sobre el vertedor		0.33	m	Peso de la sección crítica unitaria		9	ton
Libre bordo		0.67	m	Condición del nucleo central	16.41	≤	18.80
Centro de gravedad	Xm	8.50	m	Factor al deslizamiento	7.05	≥	3.17
	Ym	2.08	m	Factor al volteamiento	3.32	≥	1.00
	Zm	1.06	m	Comprobación de fuerzas resultantes	2.00	≥	1.80

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z

Cuadro 40. Dimensiones de la presa de gaviones 13.

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES 13			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	3	3	0.5
T1	5.5	2.5	1
T2	8.5	2	1
TVI	5	1	1
TVD	3	1	1
VERTEDOR	3	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, T2 = tendido 2, TVI: tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

Cuadro 41. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 13.

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES 13							
Coeficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		43.25	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		121	mm	Peso de la lámina de agua		0.44	ton
Área de captación		5.82	ha	Superficie de mojado		1.8	m ²
Gasto		0.98	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		0.9	m
Longitud del vertedor		3	m	Empuje hidrostático		1.944	ton
Carga sobre el vertedor		0.37	m	Peso de la sección crítica unitaria		7.2	ton
Libre bordo		0.63	m	Condición del núcleo central	11.60	≤	15.29
Centro de gravedad	Xm	6.37	m	Factor al deslizamiento	5.73	≥	1.94
	Ym	1.68	m	Factor al volteamiento	5.05	≥	1.00
	Zm	1.04	m	Comprobación de fuerzas resultantes	2.00	≥	1.58

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z

Cuadro 42. Dimensiones de la presa de gaviones 14.

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	5	3	1
T1	8	2.5	1
T2	11	2	1
TVI	4.5	1	1
TVD	4	1	1
VERTEDOR	4	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, T2 = tendido 2, TVI: tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

Cuadro 43. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 14.

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES 14							
Coeficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		65.5	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		120	mm	Peso de la lámina de agua		0.38	ton
Área de captación		6.16	ha	Superficie de mojado		2.5	m ²
Gasto		1.03	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		1.25	m
Longitud del vertedor		4	m	Empuje hidrostático		3.75	ton
Carga sobre el vertedor		0.32	m	Peso de la sección crítica unitaria		9	ton
Libre bordo		0.68	m	Condición del núcleo central	16.74	≤	18.76
Centro de gravedad	Xm	6.36	m	Factor al deslizamiento	7.03	≥	3.75
	Ym	1.87	m	Factor al volteamiento	3.09	≥	1.00
	Zm	1.13	m	Comprobación de fuerzas resultantes	2.00	≥	1.84

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z

Cuadro 44. Dimensiones de la presa de gaviones 15.

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	4	3	1
T1	6	2.5	1
T2	10.5	2	1
TVI	3.5	1	1
TVD	5	1	1
VERTEDOR	4	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, T2 = tendido 2, TVI: tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

Cuadro 45. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 15.

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES 15							
Coeficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		56.5	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		120	mm	Peso de la lámina de agua		0.40	ton
Área de captación		6.66	ha	Superficie de mojado		2.3	m ²
Gasto		1.11	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		1.15	m
Longitud del vertedor		4	m	Empuje hidrostático		3.174	ton
Carga sobre el vertedor		0.33	m	Peso de la sección crítica unitaria		9	ton
Libre bordo		0.67	m	Condición del núcleo central	16.40	≤	18.80
Centro de gravedad	Xm	6.53	m	Factor al deslizamiento	7.05	≥	3.17
	Ym	1.96	m	Factor al volteamiento	3.32	≥	1.00
	Zm	1.10	m	Comprobación de fuerzas resultantes	2.00	≥	1.80

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z

Cuadro 46. Dimensiones de la presa de gaviones 16.

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES 16			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	4	3	1
T1	9.5	2.5	1
T2	13.5	2	1
TVI	5.5	1	1
TVD	8.5	1	1
VERTEDOR	4	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, T2 = tendido 2, TVI: tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

Cuadro 47. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 16.

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES 16							
Coeficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		76.75	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		120	mm	Peso de la lámina de agua		0.43	ton
Área de captación		7.42	ha	Superficie de mojado		2.23	m ²
Gasto		1.24	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		1.115	m
Longitud del vertedor		4	m	Empuje hidrostático		2.98374	ton
Carga sobre el vertedor		0.36	m	Peso de la sección crítica unitaria		9	ton
Libre bordo		0.64	m	Condición del núcleo central	16.28	≤	18.86
Centro de gravedad	Xm	8.85	m	Factor al deslizamiento	7.07	≥	2.98
	Ym	2.06	m	Factor al volteamiento	3.42	≥	1.00
	Zm	1.06	m	Comprobación de fuerzas resultantes	2.00	≥	1.79

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z

Cuadro 48. Dimensiones de la presa de gaviones 17.

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	4	2.5	0.5
T1	6.5	2	1
T2	9	1.5	1
TVI	4.5	1	1
TVD	4	1	1
VERTEDOR	4	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, T2 = tendido 2, TVI: tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

Cuadro 49. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 17.

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES 17							
Coeficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		40	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		120	mm	Peso de la lámina de agua		0.45	ton
Área de captación		8.12	ha	Superficie de mojado		1.7	m ²
Gasto		1.35	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		0.85	m
Longitud del vertedor		4	m	Empuje hidrostático		1.734	ton
Carga sobre el vertedor		0.38	m	Peso de la sección crítica unitaria		5.7	ton
Libre bordo		0.62	m	Condición del núcleo central	8.22	≤	10.26
Centro de gravedad	Xm	6.84	m	Factor al deslizamiento	4.62	≥	1.73
	Ym	1.67	m	Factor al volteamiento	3.64	≥	1.00
	Zm	0.84	m	Comprobación de fuerzas resultantes	1.67	≥	1.40

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z

Cuadro 50. Dimensiones de la presa de gaviones 18.

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES 18			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	3	2.5	1
T1	5	1.5	1
TVI	2.5	1	1
TVD	8.5	1	1
VERTEDOR	1.6	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, TVI: tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

Cuadro 51. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 18.

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES 18							
Coeficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		26	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		123	mm	Peso de la lámina de agua		0.55	ton
Área de captación		4.23	ha	Superficie de mojado		1.24	m ²
Gasto		0.72	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		0.62	m
Longitud del vertedor		1.6	m	Empuje hidrostático		0.92256	ton
Carga sobre el vertedor		0.46	m	Peso de la sección crítica unitaria		4.8	ton
Libre bordo		0.54	m	Condición del núcleo central	6.46	≤	8.92
Centro de gravedad	Xm	5.38	m	Factor al deslizamiento	4.01	≥	0.92
	Ym	1.63	m	Factor al volteamiento	6.37	≥	1.00
	Zm	0.79	m	Comprobación de fuerzas resultantes	1.67	≥	1.29

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z

Cuadro 52. Dimensiones de la presa de gaviones 19.

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES 19			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	3	1.5	0.5
T1	7	1	1
TVI	6	1	1
TVD	3.5	1	1
VERTEDOR	1.6	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, TVI: tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

Cuadro 53. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 19.

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES 19							
Coeficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		18.75	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		123	mm	Peso de la lámina de agua		0.56	ton
Área de captación		4.31	ha	Superficie de mojado		0.76	m ²
Gasto		0.74	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		0.38	m
Longitud del vertedor		1.6	m	Empuje hidrostático		0.34656	ton
Carga sobre el vertedor		0.47	m	Peso de la sección crítica unitaria		2.1	ton
Libre bordo		0.53	m	Condición del núcleo central	1.90	≤	2.66
Centro de gravedad	Xm	6.27	m	Factor al deslizamiento	1.99	≥	0.35
	Ym	1.42	m	Factor al volteamiento	5.45	≥	1.00
	Zm	0.53	m	Comprobación de fuerzas resultantes	1.00	≥	0.77

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z

Cuadro 54. Dimensiones de la presa de gaviones 20.

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	4	3.5	0.5
T1	5	3	1
T2	8.5	2.5	1
T3	13	2	1
TVI	7.5	1	1
TVD	4.5	1	1
VERTEDOR	4	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, T2 = tendido 2, T3 = tendido 3, TVI: tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

Cuadro 55. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 20.

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES 20							
Coeficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		81.25	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		123	mm	Peso de la lámina de agua		0.35	ton
Área de captación		5.26	ha	Superficie de mojado		3	m ²
Gasto		0.90	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		1.5	m
Longitud del vertedor		4	m	Empuje hidrostático		5.4	ton
Carga sobre el vertedor		0.29	m	Peso de la sección crítica unitaria		11.1	ton
Libre bordo		0.71	m	Condición del núcleo central	23.50	≤	26.71
Centro de gravedad	Xm	9.57	m	Factor al deslizamiento	8.58	≥	5.40
	Ym	2.28	m		Factor al volteamiento	2.92	≥
	Zm	1.15	m	Comprobación de fuerzas resultantes	2.33	≥	2.10

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z

Cuadro 56. Dimensiones de la presa de gaviones 21.

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES 21			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	4	2	1
T1	7	1.5	1
TVI	5.5	1	1
TVD	3.5	1	1
VERTEDOR	3	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, TVI: tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

Cuadro 57. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 21.

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES 21							
Coefficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		27.5	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		123	mm	Peso de la lámina de agua		0.43	ton
Área de captación		5.43	ha	Superficie de mojado		1.4	m ²
Gasto		0.93	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		0.7	m
Longitud del vertedor		3	m	Empuje hidrostático		1.176	ton
Carga sobre el vertedor		0.36	m	Peso de la sección crítica unitaria		4.2	ton
Libre bordo		0.64	m	Condición del núcleo central	5.22	≤	6.17
Centro de gravedad	Xm	6.87	m	Factor al deslizamiento	3.47	≥	1.18
	Ym	1.54	m	Factor al volteamiento	3.71	≥	1.00
	Zm	0.74	m	Comprobación de fuerzas resultantes	1.33	≥	1.19

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z

Cuadro 58. Dimensiones de la presa de gaviones 22.

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES 22			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	2	2	0.5
T1	5	1.5	1
TVI	2.5	1	1
TVD	4.5	1	1
VERTEDOR	2	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, TVI: tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

Cuadro 59. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 22.

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES 22							
Coeficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		16.5	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		124	mm	Peso de la lámina de agua		0.38	ton
Área de captación		3.03	ha	Superficie de mojado		1.4	m ²
Gasto		0.52	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		0.7	m
Longitud del vertedor		2	m	Empuje hidrostático		1.176	ton
Carga sobre el vertedor		0.32	m	Peso de la sección crítica unitaria		3	ton
Libre bordo		0.68	m	Condición del núcleo central	4.00	≤	4.51
Centro de gravedad	Xm	4.55	m	Factor al deslizamiento	2.54	≥	1.18
	Ym	1.33	m	Factor al volteamiento	2.75	≥	1.00
	Zm	0.67	m	Comprobación de fuerzas resultantes	1.33	≥	1.27

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z

Cuadro 60. Dimensiones de la presa de gaviones 23.

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES 23			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	4	4	0.5
T1	6.5	3.5	1
T2	9.5	3	1
T3	13.5	2.5	1
TVI	6.5	1	1
TVD	6	1	1
VERTEDOR	4	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, T2 = tendido 2, T3 = tendido 3, TVI: tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

Cuadro 61. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 23.

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES 23							
Coeficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		105.5	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		125	mm	Peso de la lámina de agua		0.14	ton
Área de captación		1.33	ha	Superficie de mojado		3.3	m ²
Gasto		0.23	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		1.65	m
Longitud del vertedor		4	m	Empuje hidrostático		6.534	ton
Carga sobre el vertedor		0.12	m	Peso de la sección crítica unitaria		13.2	ton
Libre bordo		0.88	m	Condición del núcleo central	33.78	≤	35.57
Centro de gravedad	Xm	8.92	m	Factor al deslizamiento	10.00	≥	6.53
	Ym	2.21	m	Factor al volteamiento	2.54	≥	1.00
	Zm	1.39	m	Comprobación de fuerzas resultantes	2.67	≥	2.55

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z

Cuadro 62. Dimensiones de la presa da gaviones 24.

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	3	2	1
T1	7.5	1.5	1
TVI	6	1	1
TVD	3	1	1
VERTEDOR	3	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, TVI: Tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

Cuadro 63. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 24.

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES 24							
Coefficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		26.25	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		126	mm	Peso de la lámina de agua		0.17	ton
Área de captación		1.34	ha	Superficie de mojado		1.5	m ²
Gasto		0.23	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		0.75	m
Longitud del vertedor		3	m	Empuje hidrostático		1.35	ton
Carga sobre el vertedor		0.14	m	Peso de la sección crítica unitaria		4.2	ton
Libre bordo		0.86	m	Condición del núcleo central	5.19	≤	5.83
Centro de gravedad	Xm	6.99	m	Factor al deslizamiento	3.28	≥	1.35
	Ym	1.61	m	Factor al volteamiento	3.44	≥	1.00
	Zm	0.72	m	Comprobación de fuerzas resultantes	1.33	≥	1.21

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z

Cuadro 64. Dimensiones de la presa de gaviones 25.

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES 25			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	3	2.5	0.5
T1	6	2	1
T2	7.5	1.5	1
TVI	3	1	1
TVD	5	1	1
VERTEDOR	4	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, T2 = tendido 2, TVI: Tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

Cuadro 65. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 25.

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES 25							
Coefficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		35	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		126	mm	Peso de la lámina de agua		0.18	ton
Área de captación		1.89	ha	Superficie de mojado		2	m ²
Gasto		0.33	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		1	m
Longitud del vertedor		4	m	Empuje hidrostático		2.4	ton
Carga sobre el vertedor		0.15	m	Peso de la sección crítica unitaria		5.7	ton
Libre bordo		0.85	m	Condición del núcleo central	8.51	≤	9.80
Centro de gravedad	Xm	5.73	m	Factor al deslizamiento	4.41	≥	2.40
	Ym	1.70	m	Factor al volteamiento	3.08	≥	1.00
	Zm	0.83	m	Comprobación de fuerzas resultantes	1.67	≥	1.48

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z

Cuadro 66. Dimensiones de la presa de gaviones 26.

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES 26			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	2	2	0.5
T1	6.5	1.5	1
TVI	4.5	1	1
TVD	8.5	1	1
VERTEDOR	2	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, TVI: tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

Cuadro 67. Cálculos de estabilidad de la PG26.

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES 26							
Coeficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		24.75	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		126	mm	Peso de la lámina de agua		0.52	ton
Área de captación		4.7	ha	Superficie de mojado		1.25	m ²
Gasto		0.82	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		0.625	m
Longitud del vertedor		2	m	Empuje hidrostático		0.9375	ton
Carga sobre el vertedor		0.43	m	Peso de la sección crítica unitaria		3	ton
Libre bordo		0.57	m	Condición del núcleo central	3.90	≤	4.69
Centro de gravedad	Xm	6.92	m	Factor al deslizamiento	2.64	≥	0.94
	Ym	1.46	m	Factor al volteamiento	3.15	≥	1.00
	Zm	0.64	m	Comprobación de fuerzas resultantes	1.33	≥	1.21

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z

Cuadro 68. Dimensiones de la presa de gaviones 27.

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES 27			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	2.5	1.5	0.5
T1	5	1	1
TVI	4.5	1	1
TVD	2.5	1	1
VERTEDOR	2.5	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, TVI: tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

Cuadro 69. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 27.

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES 27							
Coeficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		13.875	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		126	mm	Peso de la lámina de agua		0.56	ton
Área de captación		6.67	ha	Superficie de mojado		0.79	m ²
Gasto		1.17	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		0.395	m
Longitud del vertedor		2.5	m	Empuje hidrostático		0.37446	ton
Carga sobre el vertedor		0.47	m	Peso de la sección crítica unitaria		2.1	ton
Libre bordo		0.53	m	Condición del núcleo central	1.92	≤	2.66
Centro de gravedad	Xm	5.25	m	Factor al deslizamiento	2.00	≥	0.37
	Ym	1.40	m	Factor al volteamiento	5.14	≥	1.00
	Zm	0.53	m	Comprobación de fuerzas resultantes	1.00	≥	0.78

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z

Cuadro 70. Dimensiones de la presa de gaviones 28.

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES 28			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	5	1.5	1
T1	11	1	1
TVI	3.5	1	1
TVD	6.5	1	1
VERTEDOR	4	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, TVI: tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

Cuadro 71. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 28.

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES 28							
Coeficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		28.5	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		126	mm	Peso de la lámina de agua		0.47	ton
Área de captación		8.13	ha	Superficie de mojado		1.1	m ²
Gasto		1.42	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		0.55	m
Longitud del vertedor		4	m	Empuje hidrostático		0.726	ton
Carga sobre el vertedor		0.39	m	Peso de la sección crítica unitaria		3	ton
Libre bordo		0.61	m	Condición del núcleo central	3.10	≤	3.47
Centro de gravedad	Xm	6.99	m	Factor al deslizamiento	2.60	≥	0.73
	Ym	1.59	m	Factor al volteamiento	2.77	≥	1.00
	Zm	0.57	m	Comprobación de fuerzas resultantes	1.00	≥	0.96

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z

Cuadro 72. Dimensiones de la presa de gaviones 29.

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES 29			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	5	2	1
T1	7	1.5	1
TVI	4	1	1
TVD	4	1	1
VERTEDOR	3	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, TVI: tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

Cuadro 73. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 29.

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES 29							
Coeficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		28.5	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		126	mm	Peso de la lámina de agua		0.57	ton
Área de captación		8.19	ha	Superficie de mojado		1.47	m ²
Gasto		1.43	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		0.735	m
Longitud del vertedor		3	m	Empuje hidrostático		1.29654	ton
Carga sobre el vertedor		0.48	m	Peso de la sección crítica unitaria		4.2	ton
Libre bordo		0.52	m	Condición del núcleo central	5.36	≤	6.36
Centro de gravedad	Xm	6.00	m	Factor al deslizamiento	3.58	≥	1.30
	Ym	1.43	m	Factor al volteamiento	3.52	≥	1.00
	Zm	0.77	m	Comprobación de fuerzas resultantes	1.33	≥	1.21

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z

Cuadro 74. Dimensiones de la presa de gaviones 30.

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES 30			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	4	3	1
T1	7	2.5	1
T2	11.5	2	1
TVI	5.5	1	1
TVD	6	1	1
VERTEDOR	4	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, T2 = tendido 2, TVI: tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

Cuadro 75. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 30.

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES 30							
Coeficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		64	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		111	mm	Peso de la lámina de agua		0.26	ton
Área de captación		3.8	ha	Superficie de mojado		2.3	m ²
Gasto		0.59	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		1.15	m
Longitud del vertedor		4	m	Empuje hidrostático		3.174	ton
Carga sobre el vertedor		0.22	m	Peso de la sección crítica unitaria		9	ton
Libre bordo		0.78	m	Condición del núcleo central	16.34	≤	18.52
Centro de gravedad	Xm	8.65	m	Factor al deslizamiento	6.95	≥	3.17
	Ym	2.03	m	Factor al volteamiento	3.32	≥	1.00
	Zm	1.07	m	Comprobación de fuerzas resultantes	2.00	≥	1.80

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z

Cuadro 76. Dimensiones de la presa de gaviones 31.

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	4	2.5	0.5
T1	7	2	1
T2	11	1.5	1
TVI	6.5	1	1
TVD	5.5	1	1
VERTEDOR	4	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, T2 = tendido 2, TVI: tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

Cuadro 77. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 31.

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES 31							
Coefficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		47.5	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		111	mm	Peso de la lámina de agua		0.25	ton
Área de captación		3.61	ha	Superficie de mojado		1.68	m ²
Gasto		0.56	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		0.84	m
Longitud del vertedor		4	m	Empuje hidrostático		1.69344	ton
Carga sobre el vertedor		0.21	m	Peso de la sección crítica unitaria		5.7	ton
Libre bordo		0.79	m	Condición del núcleo central	8.09	≤	9.92
Centro de gravedad	Xm	9.50	m	Factor al deslizamiento	4.46	≥	1.69
	Ym	1.77	m	Factor al volteamiento	3.69	≥	1.00
	Zm	0.81	m	Comprobación de fuerzas resultantes	1.67	≥	1.40

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z

Cuadro 78. Dimensiones de la presa de gaviones 32.

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	4	3	1
T1	7.5	2.5	1
T2	12.5	2	1
TVI	5.5	1	1
TVD	8	1	1
VERTEDOR	4	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, TVI: tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

Cuadro 79. Cálculos de estabilidad de la presa de gaviones 32.

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES 32							
Coefficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		69.25	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		111	mm	Peso de la lámina de agua		0.47	ton
Área de captación		9.12	ha	Superficie de mojado		2.18	m ²
Gasto		1.41	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		1.09	m
Longitud del vertedor		4	m	Empuje hidrostático		2.8514	ton
Carga sobre el vertedor		0.39	m	Peso de la sección crítica unitaria		9	ton
Libre bordo		0.61	m	Condición del núcleo central	16.19	≤	18.93
Centro de gravedad	Xm	8.65	m	Factor al deslizamiento	7.10	≥	2.85
	Ym	2.08	m	Factor al volteamiento	3.50	≥	1.00
	Zm	1.06	m	Comprobación de fuerzas resultantes	2.00	≥	1.77

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z

Cuadro 80. Dimensiones de la presa de gaviones 33.

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	5	3.5	0.5
T1	6.5	3	1
T2	11.5	2.5	1
T3	14.5	2	1
TVI	6	1	1
TVD	7	1	1
VERTEDOR	5	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, T2 = tendido 2, T3 = tendido 3, TVI: tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

Cuadro 81. Cálculos de estabilidad de la PG33.

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES							
Coefficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		99	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		111	mm	Peso de la lámina de agua		0.37	ton
Área de captación		8.19	ha	Superficie de mojado		2.85	m ²
Gasto		1.26	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		1.425	m
Longitud del vertedor		5	m	Empuje hidrostático		4.8735	ton
Carga sobre el vertedor		0.31	m	Peso de la sección crítica unitaria		11.1	ton
Libre bordo		0.69	m	Condición del núcleo central	23.21	≤	26.77
Centro de gravedad	Xm	8.98	m	Factor al deslizamiento	8.61	≥	4.87
	Ym	2.20	m	Factor al volteamiento	3.03	≥	1.00
	Zm	1.17	m	Comprobación de fuerzas resultantes	2.33	≥	2.07

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z

Cuadro 82. Dimensiones de la presa de gaviones 34.

DIMENSIONES DE LA PRESA DE GAVIONES			
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
T0	4	2.5	0.5
T1	8	2	1
T2	17.5	1.5	1
T3	0	0	0
TVI	9.5	1	1
TVD	12.5	1	1
VERTEDOR	4	1	1

Fuente: elaboración propia. T0 = tendido cero, T1 = tendido 1, T2 = tendido 2, T3 = tendido 3, TVI: tendido vertedor izquierdo, TVD: tendido vertedor derecho

Cuadro 83. Cálculos de estabilidad de la PG34.

Cálculos de estabilidad de la PRESA DE GAVIONES 34							
Coefficiente de escurrimiento		0.5		Volumen de la presa		69.25	m ³
Lluvia máxima periodo de retorno 25 años		112	mm	Peso de la lámina de agua		0.31	ton
Área de captación		4.86	ha	Superficie de mojado		1.75	m ²
Gasto		0.76	m ³ · s ⁻¹	Centro de gravedad del área de mojado		0.875	m
Longitud del vertedor		4	m	Empuje hidrostático		1.8375	ton
Carga sobre el vertedor		0.26	m	Peso de la sección crítica unitaria		5.7	ton
Libre bordo		0.74	m	Condición del núcleo central	8.23	≤	10.01
Centro de gravedad	Xm	13.27	m	Factor al deslizamiento	4.51	≥	1.84
	Ym	1.96	m	Factor al volteamiento	3.52	≥	1
	Zm	0.76	m	Comprobación de fuerzas resultantes	1.67	≥	1.42

Fuente: elaboración propia. Xm: centro de gravedad en X, Ym: centro de gravedad en Y, Zm: centro de gravedad en Z