

Universidad de Oriente
Núcleo Anzoátegui
Extensión Cantaura
Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas
Departamento de Ingeniería Civil



**PROPUESTAS DE TÉCNICAS DE BIOINGENIERÍA PARA
MITIGAR EL PROCESO EROSIVO EN EL BLOQUE
JUNÍN 5 DE PETROJUNÍN EN ZUATA
EDO. ANZÓATEGUI**

Autor:

Rodríguez López, Winston Alexander

Trabajo de grado presentado ante la Universidad de Oriente como requisito
para optar al título de:
INGENIERO CIVIL

Cantaura, Marzo de 2017.

Universidad de Oriente
Núcleo Anzoátegui
Extensión Cantaura
Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas
Departamento de Ingeniería Civil



**PROPUESTAS DE TÉCNICAS DE BIOINGENIERÍA PARA
MITIGAR EL PROCESO EROSIVO EN EL BLOQUE
JUNÍN 5 DE PETROJUNÍN EN ZUATA
EDO. ANZÓATEGUI**

Asesores:

Prof. Rojas, Laurimar

Asesor Académico

Cantaura, Marzo de 2017.

Universidad de Oriente
Núcleo Anzoátegui
Extensión Cantaura
Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas
Departamento de Ingeniería Civil



**PROPUESTAS DE TÉCNICAS DE BIOINGENIERÍA PARA
MITIGAR EL PROCESO EROSIVO EN EL BLOQUE
JUNÍN 5 DE PETROJUNÍN EN ZUATA
EDO. ANZÓATEGUI**

El jurado hace constar que asignó a esta tesis la calificación de

APROBADO

Jurados

Prof. Rondón, Elys

Jurado principal

Prof. González, Amarilis

Jurado principal

Cantaura, Marzo de 2017.

RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajos de grado de la Universidad de Oriente.

“Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización”



DEDICATORIA

En primer lugar dedico esta investigación y toda mi carrera universitaria a Dios, por concederme fuerza y salud, además de brindarme la oportunidad de crecer como persona en el camino trazado para el cumplimiento de esta meta.

A mis padres, Wilman Rodríguez y María López, por brindarme su apoyo y su cariño incondicional, además de procurarme la educación necesaria para llegar hasta aquí y ser el pilar fundamental sobre el que se sorpotan los logros que he cultivado hasta el momento, sin ustedes esto no sería posible.

A mis hermanos Wilman y Wilder, que siempre han estado allí para mi, en las buenas y en las malas, aquellos en los que sé que siempre podré contar y que siempre podrán contar con mi apoyo.

A mi abuela Tiby de Rodríguez, por brindarme todo su cariño, quien a pesar de siempre repertirme en bromas que me veía como médico y no como ingeniero, estoy seguro que debe sentirse inmensamente feliz y orgullosa en este momento. A mis difuntos abuelos, José López, Conchita Ortiz y Eduvigis Rodríguez, los cuales deben estar profundamente orgullosos por este logro allá arriba en el cielo, gracias por sus enseñanzas.

A mis tíos, primos y familiares en general por siempre estar atentos a mi, y por último a toda aquella persona que de una u otra forma estuvo allí para mi cuando la necesité.

Este logro es para ustedes...

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios y a la Virgen del Valle por darme salud, constancia y paciencia durante esta etapa de mi vida, por ser mi guía, mi fortaleza en los momentos difíciles y brindarme el valor para superar cualquier obstáculo.

A mis padres, por hacer todo lo que estuvo en su disposición para permitirme alcanzar esta meta, por sus consejos y sus regaños, por su atención y paciencia, sus acciones me animan cada día a convertirme en un hombre de bien y en un profesional honesto del cual puedan sentirse orgullosos. A mis hermanos, por ser el regalo más preciado que mis padres me han brindado, por su compañía y apoyo, no sólo en los momentos importantes, sino también en todos los demás. Gracias por todo y espero Dios nos permita siempre mantenernos tan unidos como hasta ahora, o de ser posible, más aún.

A mi casa de estudios, la Universidad de Oriente, por formarme como profesional y contribuir a mi desarrollo como persona. A la profesora Laurimar Rojas, por su asesoría académica, que hizo posible la realización de este trabajo de grado. A mis compañeros estudiantes, con los que compartí muchas horas de estudio, así como decepciones y alegrías, experiencias valiosas que me han permitido conocer a personas que hoy en día considero con orgullo como buenos amigos (Guillermo, Adriana). Así como también agradezco a esos amigos que han sido como hermanos para mí (Jesús, Kevin, Rainer, José, Pedro, Henry), con quienes he compartido grandes momentos y quienes siempre me han brindado su apoyo incondicional.

A mis primos Wilfredo y Yanira, por aparecer en los momentos más oportunos y brindarme una oportunidad para seguir adelante.

A la empresa PETROJUNÍN por contribuir a mi formación académica, permitiéndome realizar mi tesis de grado en sus instalaciones y a todas aquellas personas que allí laboran, que de alguna manera contribuyeron al desarrollo de este trabajo, en especial al personal del departamento de proyectos, incluyendo también a mis compañeras pasantes, a quienes agradezco las experiencias compartidas. Por último, pero no menos importante, al Ing. Aníbal Villarroel por sus consejos y asesoría.



Universidad de Oriente
Núcleo Anzoátegui
Extensión Cantaura
Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas
Departamento de Ingeniería Civil

**PROPUESTAS DE TÉCNICAS DE BIOINGENIERÍA PARA
MITIGAR EL PROCESO EROSIVO EN EL BLOQUE
JUNÍN 5 DE PETROJUNÍN EN ZUATA
EDO. ANZÓATEGUI**

Autor: Rodríguez, Winston.

Tutor académico: Prof. Rojas, Laurimar.

Fecha: Marzo de 2017.

RESUMEN

En esta investigación se diseñó una propuesta de mitigación del proceso erosivo actuante en los taludes pertenecientes a las plataformas de las macollas de producción MPJ-06 y MPJ-07 de la empresa PETROJUNÍN, con la finalidad de asegurar la integridad de las obras ejecutadas en el Bloque Junín 5, reduciendo el impacto ambiental y disminuyendo los costos en comparación a otras labores de control erosivo, evitando así comprometer la producción nacional petrolera. Para el desarrollo de las propuestas se estudiaron las características del suelo, continuando con la estimación de la pérdida de suelos en los casos estudiados mediante la utilización de la ecuación universal de pérdida de suelos. Una vez obtenidos los resultados se determinó que el proceso erosivo en MPJ-06 es de tipo moderado, por lo que se recomendó la siembra de barreras de vetiver en esta para la mitigación del proceso erosivo actuante, mientras que los taludes de MPJ-07 se encuentran afectados por un proceso erosivo grave, que conlleva a que el tipo de mantenimiento a ejecutar para el control del proceso erosivo este compuesto por la siembra de barreras de vetiver complementado con mantos de protección contra la erosión y un sistema de drenaje superficial, el cual consta de canales de intercepción de escorrentía en la cresta de los taludes en corte y cunetas al pie de los mismos.

Descriptivos: Erosión, Bioingeniería, Vetiver, Cárcavas, USLE, Zuata.

ÍNDICE GENERAL

RESOLUCIÓN	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTOS.....	VI
RESUMEN.....	VIII
ÍNDICE GENERAL.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVI
INTRODUCCIÓN	XVIII
CAPÍTULO I	
EL PROBLEMA.....	21
1.1 Planteamiento del problema	21
1.2 Objetivos de la investigación.....	25
1.2.1 Objetivo general	25
1.2.2 Objetivos específicos	25
1.3 Justificación de la investigación	26
1.4 Delimitación de la investigación	27
1.5 Generalidades de la empresa	28
1.5.1 Misión.....	29
1.5.2 Visión	30

1.5.3 Estructura organizativa	31
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	32
2.1 Antecedentes de la investigación.....	32
2.2 Bases teóricas.....	35
2.2.1 Suelo.....	36
2.2.2 Erosión.....	37
2.2.3 Tipos de erosión hídrica.....	38
2.2.4 Factores que influyen en los procesos erosivos	47
2.2.5 Bioingeniería	49
2.2.6 Técnicas para el control de erosión	50
2.2.7 Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo	66
CAPÍTULO III	
MARCO METODOLÓGICO	
3.1 Tipo de investigación	73
3.2 Diseño de investigación	74
3.3 Técnicas a utilizar	75
3.3.1 Técnicas de recolección de datos.....	75
3.3.2 Técnicas de análisis de información	76
3.4 Etapas de la investigación	77

3.4.1 Revisión bibliográfica	77
3.4.2 Identificar las zonas con potencial erosivo a partir de planos topográficos y características físico-químicas del suelo existente en el Bloque Junín 5	77
3.4.3 Indicar las zonas con mayor riesgo de degradación por pérdida de suelo debida a la erosión hídrica a través de la ecuación universal de pérdidas de suelo (universal soil loss equation, USLE)	78
3.4.4 Plantear diversas técnicas de bioingeniería para el control de la erosión, compatibles con las condiciones de fertilidad del suelo existente	82
3.4.5 Elaborar planos de ingeniería de detalle de las técnicas planteadas para la mitigación del proceso erosivo en obras ejecutadas por la empresa PETROJUNÍN	94

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	95
4.1 Características del suelo de la zona	95
4.2 Aplicación de la USLE para la determinación de las pérdidas de suelo	107
4.2.1 Factor R	108
4.2.2 Factor K	111
4.2.2 Factor L	112
4.2.3 Factor S	113
4.2.4 Factores C y P	114
4.2.5 Cálculo de pérdida de suelos	114
4.3 Desarrollo de propuesta para control de erosión	116
4.3.1 Proceso erosivo moderado, erosión laminar o erosión en surcos	124

4.3.2 Proceso erosivo grave, erosión en cárcavas	128
--	-----

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	137
--------------------------------------	-----

5.1 Conclusiones.....	137
-----------------------	-----

5.2 Recomendaciones	138
---------------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA.....	141
-------------------	-----

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Obras para el control de erosión en cárcavas	46
Tabla 2 Formas y mecanismos de erosión y obras de estabilización.....	51
Tabla 3 Beneficios de la vegetación frente a la erosión y la estabilidad del talud	54
Tabla 4 Interpretación de pérdida de suelos	79
Tabla 5 Coeficiente de escorrentía.....	85
Tabla 6 Valores del coeficiente de rugosidad “n”.....	86
Tabla 7 Criterios de máxima eficiencia hidráulica.....	87
Tabla 8 Relaciones geométricas de secciones transversales en canales	88
Tabla 9 Borde libre según la base del canal.....	89
Tabla 10 Análisis hidráulico de torrenteras.....	89
Tabla 11 Dimensiones estandarizadas para disipadores de enrocado.	93
Tabla 12 Granulometría perforación P1-MPJ-06.....	98
Tabla 13 Granulometría perforación P2-MPJ-06.....	98
Tabla 14 Granulometría perforación P3-MPJ-06.....	99
Tabla 15 Granulometría perforación P1-MPJ-07	99
Tabla 16 Granulometría perforación P2-MPJ-07.....	100
Tabla 17 Perforaciones hasta 2m de profundidad MPJ-06.....	102
Tabla 18 Perforaciones hasta 2m de profundidad MPJ-07.....	103

Tabla 19	Promedio de granulometría MPJ-06.....	104
Tabla 20	Promedio de granulometría MPJ-07.....	104
Tabla 21	Comparación de granulometría MPJ-06 y MPJ-07.....	104
Tabla 22	Potencial de hidrógeno MPJ-06.....	107
Tabla 23	Potencial de hidrógeno MPJ-07.....	107
Tabla 24	Precipitación mensual Zuata (mm) (1981-2003).....	109
Tabla 25	Lámina promedio de precipitación mensual (1981-2003).....	110
Tabla 26	Factor de erosividad de lluvia anual (1981-2003).....	110
Tabla 27	Porcentaje de limos y arcillas en el suelo.....	111
Tabla 28	Potencial de hidrógeno del suelo.....	111
Tabla 29	Factor de erosionabilidad de suelos.....	112
Tabla 30	Longitud de pendientes MPJ-06.....	112
Tabla 31	Longitud de pendientes MPJ-07.....	112
Tabla 32	Factor de longitud de pendiente MPJ-06.....	113
Tabla 33	Factor de longitud de pendiente MPJ-07.....	113
Tabla 34	Pérdida de suelos MPJ-06.....	115
Tabla 35	Pérdida de suelos MPJ-07.....	115
Tabla 36	Interpretación de pérdida de suelos MPJ-06.....	115
Tabla 37	Interpretación de pérdida de suelos MPJ-07.....	115
Tabla 38	Comparación entre técnicas de bioingeniería.....	117

Tabla 39 Cálculo de los caudales de aguas de lluvia para los canales de MPJ-07.	131
Tabla 40 Cálculo hidráulico de los canales.	131
Tabla 42 Cálculo de los caudales de aguas de lluvia para las cunetas.....	135
Tabla 43 Cálculo hidráulico de las cunetas.	135
Tabla 4.4 Velocidad de salida y disipadores en canales.	136
Tabla 45 Velocidad de salida y disipadores en cunetas.	136

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura organizativa PETROJUNÍN.	31
Figura 2 Erosión por golpeo de una gota de lluvia (Suárez, 2001).	38
Figura 3 Proceso de erosión laminar (Suárez, 2001).....	39
Figura 4 Procesos de formación de surcos y cárcavas (Suárez, 2001).	40
Figura 5 Canal de protección en la corona del relleno de una vía (Suárez, 2001).....	53
Figura 6 Esquema de una planta de pasto vetiver (Suárez, 2001).	55
Figura 7 Extracción de macolla de vetiver con un pico (García <i>et al.</i> , 2015). .	58
Figura 8 Macolla de vetiver extraída (García <i>et al.</i> , 2015).	58
Figura 9 Corte de macollas de vetiver (García <i>et al.</i> , 2015).....	59
Figura 10 Extracción de esquejes de vetiver y esquejes listos para la siembra (García <i>et al.</i> , 2015).	59
Figura 11 Fajinas en taludes (Suárez, 2001).	61
Figura 12 Instalación de mantos para control de erosión en taludes (Suárez, 2001).....	62
Figura 13 Detalle del procedimiento de instalación de mantos para control de erosión (Suárez, 2001).	65
Figura 14 Curva IDF, Frecuencia 10 Años. Estación San Diego de Cabrutica (PETROCEDEÑO).....	84
Figura 15 Gradas de bajada antecedidas y seguidas de flujo supercrítico (Bolinaga, J. 1979).....	91
Figura 16 Distancia entre gradas en flujo supercrítico (Bolinaga, J. 1979).....	92

Figura 17 Zona de estudio, Bloque Junín 5.	96
Figura 18 Geología de la región, afloramientos (González de Juana, 1980)..	97
Figura 19 Vista en planta MPJ-06.....	105
Figura 20 Vista en planta MPJ-07.....	105
Figura 21 Ángulo de elevación de los taludes.....	114
Figura 22 Talud de la zona Este de MPJ-06.....	119
Figura 23 Talud de la zona Oeste de MPJ-06	120
Figura 24 Talud de la zona Suroeste de MPJ-06.....	120
Figura 25 Talud de la zona Noroeste de MPJ-06.....	121
Figura 26 Talud de la zona Este de MPJ-07.....	121
Figura 27 Talud de la zona Sur de MPJ-07.	122
Figura 28 Talud de la zona Noroeste de MPJ-07.....	122
Figura 29 Talud de la zona Noreste de MPJ-07.....	123
Figura 30 Talud de la zona Oeste de MPJ-07.	123
Figura 31 Detalle de siembra de esquejes.....	125
Figura 32 Anclaje de los mantos (PAVCO).....	126
Figura 33 Separación de ganchos de anclaje en la instalación de mantos para control de erosión en taludes (Suárez, 2001).	127
Figura 34 Instalación de mantos de protección contra la erosión (Suárez, 2001).....	128

INTRODUCCIÓN

La erosión comprende el desprendimiento, el transporte y posterior depósito de las partículas superficiales de suelo o roca por acción de la fuerza de un fluido en movimiento y constituye uno de los procesos que mayor daño ha causado en el medio ambiente tropical. A pesar de los avances logrados en las tecnologías de control de la erosión, los problemas que ésta ocasiona hoy en día son más extensos y severos, por lo que la necesidad de conocimientos sobre el control de la misma es cada día más indispensable.

En general, las regiones con suelos muy erosionables, pendiente alta, clima seco y fuertes vientos pero con lluvias intensas ocasionales, sufren mayores pérdidas por erosión y son las actividades humanas las que, frecuentemente, intensifican o aceleran este proceso. La explotación petrolera ha aumentado el impacto de la erosión en el medio, debido a que la construcción de carreteras, plataformas petroleras, la instalación de campamentos, el tendido de oleoducto y otras actividades propias de la industria petrolera, alteran cauces y lechos hídricos, causan un incremento de partículas en suspensión y el incremento de la erosión y sedimentación, debido al alto movimiento de tierras y a la formación de taludes de grandes dimensiones, que agravan el problema de la erosión.

Como consecuencia de los factores antes mencionados, en las últimas décadas se ha acrecentado el problema de la erosión en las obras ejecutadas por la empresa PETROJUNÍN en el Bloque Junín 5, el cual de seguir acrecentándose, atentaría contra la integridad física de las mismas, por lo que es necesario idear planes de control de erosión que eviten la ocurrencia de estos eventos impidiendo la formación de cárcavas en los taludes y todo lo que esto conlleva.

El presente trabajo tiene como objetivo fundamental generar una propuesta de control de erosión mediante el uso de técnicas de bioingeniería en los taludes de las macollas de producción MPJ-06 y MPJ-07, la cual se produce por la acción de las precipitaciones que acontecen en la zona y el flujo de las escorrentías que éstas causan por las pendientes, a fin de constituir una referencia en el manejo de este tipo de problemática y una solución adecuada desde el punto de vista de ingeniería, atendiendo a las condiciones topográficas, hidrológicas y geotécnicas del área.

En este sentido, la investigación se divide en cinco capítulos referidos fundamentalmente a lo siguiente:

Capítulo I. El problema: en donde se presenta el planteamiento del problema, los objetivos, la justificación y el alcance de la investigación.

Capítulo II. Marco teórico: se presentan los antecedentes de la investigación, así como el conjunto de aspectos teóricos que permiten proporcionar una base conceptual del tema investigado.

Capítulo III. Marco metodológico: en el cual se señala el tipo y diseño de la investigación, las técnicas e instrumentos de recolección de datos, y las técnicas de procesamiento y análisis de datos, y por último se describe paso a paso el proceso investigativo.

Capítulo IV. Análisis e interpretación de los resultados: donde se presenta el análisis de los objetivos planteados, en los que se incluye la formulación de la propuesta: en el cual se expresa detalladamente la propuesta a considerar para la solución de la problemática planteada, basada en el análisis e interpretación de los datos obtenidos a través del proceso de investigación.

Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones: se presentan las conclusiones y recomendaciones, producto de la investigación, las cuales dan respuesta a los objetivos planteados, y los anexos, que amplían aún más la información presentada.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

La empresa PETROJUNÍN es responsable de operar en el Bloque Junín 5 de la Faja Petrolífera del Orinoco (FPO), cuenta con un área de 670.07 km² y está ubicado en el oriente del país, entre los municipios José Gregorio Monagas (parte sur-occidental del Estado Anzoátegui), y Santa María de Ipire (parte sur-oriental del Estado Guárico), específicamente en la parte central de la FPO. Esta empresa se encarga de la extracción de crudo en la FPO, correspondiéndole 424,30 km², del área total del Bloque para ejercer sus funciones, teniendo como meta la producción de 240 mil barriles diarios (MBD), como contribución a las metas globales de Venezuela. Desde el inicio de sus operaciones PDVSA, ha completado la construcción de siete (07) macollas productoras, siete (07) pozos estratigráficos, un sistema de tuberías de 12"-8", para el transporte de la producción hasta la empresa PETROCEDEÑO, y un sistema de tuberías de 36"-20", para la recolección de crudo de la división Junín.

Hoy en día se puede apreciar que existen problemas de erosión hídrica en los taludes de los terraplenes y los taludes relacionados con las obras ejecutadas por la empresa en las áreas operacionales del Bloque Junín 5, problemática que de seguir avanzando puede llegar a comprometer la integridad estructural de las mismas, poniendo así en riesgo la producción nacional. Es importante destacar que la erosión hídrica es un fenómeno que consiste en la pérdida de material en la capa superficial del suelo por causa de las precipitaciones, escorrentía difusa o flujo concentrado de fluidos sobre la superficie del terreno.

Por consiguiente, la erosión es un problema que debe ser atacado a la brevedad posible, preferiblemente tomando las medidas necesarias para la prevención de la misma, minimizando así su manifestación aplicando medidas de mitigación. Por este motivo surgió la necesidad de abordar el tema expuesto, dando respuesta a la problemática de las superficies erosivas existentes en el Bloque Junín 5, de la forma más efectiva posible.

Recientemente, las técnicas de bioingeniería, las cuales consisten en la utilización de vegetación y materiales “vivos” de manera aislada o en conjunto con materiales de construcción inertes (concreto, rocas, entre otros) como elementos de construcción en obras de recuperación que tienen por finalidad la prevención, estabilización y supresión de la erosión, han demostrado ser sumamente efectivas para el control de la erosión y estabilización de taludes. Sangalli y Valenzuela (2008), expresan que éstas presentan una ventaja innegable ante las técnicas de ingeniería convencional, dando como ejemplo que para las obras convencionales el paso del tiempo trae consigo el comienzo de su ruina, mientras que las ejecutadas con bioingeniería son cada vez más fuertes y estables; además de generar menor impacto ambiental, disminuir costos, entre otras ventajas.

García (2005), agrega que el uso de técnicas de bioingeniería como la siembra de vetiver u otras gramíneas garantizan una mayor estabilidad, mejor protección y recubrimiento de suelo. La construcción de canales y torrenteras para la debida canalización, conducción y disposición final de las aguas de escorrentía, se presentan como opciones recomendables para el desarrollo de una propuesta que tenga por objetivo subsanar la problemática presente producto de la erosión hídrica en el sureste del Bloque Junín 5; planteando las posibles soluciones que podrían ser utilizadas para el control de la erosión hídrica en las distintas obras ubicadas en las diferentes zonas

geomorfológicas presentes, que actualmente presentan pérdidas de suelo considerables.

Con el fin de llevar a cabo la aplicación de estas técnicas, diversos factores debieron ser estudiados como lo fueron: la pendiente del terreno a tratar, la composición del suelo, granulometría, potencial de hidrógeno (pH), contenido de materia orgánica, entre otros. Estos datos debieron ser debidamente analizados ya que contribuyeron para definir las técnicas más favorables según fue el caso.

Por lo tanto, con el objeto de seleccionar las técnicas aplicables con mayor conveniencia para ser utilizadas, se procedió a realizar una estimación de erosión hídrica, mediante el uso de la ecuación universal de pérdidas de suelo (universal soil loss equation, USLE), identificando así las zonas con mayor riesgo erosivo, lo cual ayudó a establecer que zonas tienen mayor prioridad para su pronto tratamiento.

Luego del análisis de la información obtenida, se plantearon posibles soluciones que podrían ser aplicadas en las distintas zonas geomorfológicas del Bloque Junín 5, para controlar la erosión hídrica en los taludes de las plataformas de las macollas de producción MPJ-06 y MPJ-07, mediante el uso de las técnicas de bioingeniería, comprobando de antemano la compatibilidad del suelo presente con la siembra de sistemas vivos, como el vetiver. Otras técnicas que se tomaron en consideración fueron: el uso de geosintéticos, fajinas, torrenteras, entre otros. La selección dependió de cuál técnica se adapta mejor a las características del área estudiada. Para finalizar, se procedió con la elaboración de memorias descriptivas y planos de ingeniería de detalle de las propuestas realizadas para mitigar problemas

de erosión hídrica en las macollas de producción MPJ-06 y MPJ-07, ubicadas en el área sureste del Bloque Junín 5.

Por otra parte, gracias a informes geoambientales emitidos por el Instituto Nacional de Estadística (INE), en el año 2011, se conoce que los suelos presentes en el área que se encuentra ubicado el Bloque Junín 5, presentan una litología compuesta por arenisca y lutitas arcillosas, así como también arenas de grano grueso y gravas muy duras poco cementadas. Debido a esto la formación presenta gran cantidad de suelos de texturas variables, donde domina la textura arcillo-arenosa. El análisis de estos informes resulta provechoso, ya que permite inferir que la constitución de estos suelos conlleva a que sean susceptibles a la formación de cárcavas, debido a la erosión por efecto del flujo de agua proveniente de las precipitaciones, lo que implica que sea necesaria la implementación de obras que tengan por finalidad procurar un eficiente control de la erosión hídrica.

Un ejemplo de las obras usadas más frecuentemente es la siembra de barreras de vetiver, que según una publicación del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), del año 2015, se desempeña de manera eficaz en el control de la erosión, gracias a sus características y su capacidad de adaptarse a diferentes condiciones edafoclimáticas, además de formar una barrera densa y compacta que es capaz de retener los sedimentos y disminuir la velocidad del agua que fluye superficialmente, cuestión que resulta de mucha utilidad para el control de la erosión causada por escorrentías superficiales, gracias a éstas y otras características el pasto vetiver es altamente usado para la conservación de suelos y aguas.

Por último, el desarrollo de esta investigación contribuye a plantear vías posibles de solución para problemática actual de erosión hídrica,

garantizando de esta manera la estabilidad y durabilidad de todas las obras ejecutadas para la producción y extracción de crudo de la empresa, ayudando así a la producción nacional y contribuyendo al cumplimiento de las metas globales del país; del mismo modo servirá de referencia para futuras labores de tratamiento preventivo y correctivo de superficies erosivas por parte de la empresa PETROJUNÍN, en las áreas operacionales del Bloque Junín 5 en general, además de poder ser utilizada por los estudiantes de la Universidad de Oriente como aporte a la investigación científica de aplicación de técnicas de bioingeniería en respuesta de soluciones a problemas específicos.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Proponer técnicas de bioingeniería para la mitigación del proceso erosivo en el Bloque Junín 5 de PETROJUNÍN en Zuata Edo. Anzoátegui.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar las zonas con potencial erosivo a partir de planos topográficos y características físico-químicas del suelo existente en el Bloque Junín 5.
- Indicar las zonas con mayor riesgo de degradación por pérdida de suelo debida a la erosión hídrica a través de la aplicación de la USLE.
- Seleccionar diversas técnicas de bioingeniería para el control de la erosión, compatibles con las condiciones de fertilidad del suelo existente.

- Presentar planos de ingeniería de detalle de las técnicas planteadas para la mitigación del proceso erosivo en obras ejecutadas por la empresa PETROJUNÍN.

1.3 Justificación de la investigación

Como ya se ha mencionado anteriormente, la erosión hídrica es un fenómeno que consiste en la pérdida de material en la capa superficial del suelo por causa del impacto de gotas de lluvia, escorrentía difusa o flujo concentrado de fluidos sobre la superficie del terreno, cuya manifestación puede comprometer la integridad física de las obras implantadas en el suelo donde esta se presente. En vista que en el Bloque Junín 5 se puede observar que la erosión es un fenómeno que actúa activamente debido a la composición del suelo de la zona que lo hace susceptible a la formación de cárcavas, resulta necesario corregir los casos existentes de erosión hídrica de la forma más efectiva posible antes que estos representen un riesgo real para la producción nacional.

Para la empresa PETROJUNÍN, es de gran importancia que sus macollas de producción, vías de acceso a éstas, y otras obras relacionadas, se encuentren en un estado óptimo para así asegurar que se cumplan a cabalidad y sin ningún tipo de contratiempos las actividades programadas a ejecutarse en el Bloque y así alcanzar las metas de producción propuestas.

Debido a esta razón surgió la necesidad de plantear propuestas de técnicas de bioingeniería para mitigar el proceso erosivo en el Bloque Junín 5, que proporcionarán soluciones efectivas para la corrección de la erosión hídrica en las obras de la empresa PETROJUNÍN. La importancia del estudio radica en evaluar el riesgo a erosión hídrica potencial en distintas zonas del

área sureste del Bloque Junín 5, con el fin de llevar a cabo el planteamiento de las propuestas, de esta forma asegurando la permanencia en el tiempo de las obras ejecutadas por la empresa en la zona.

1.4 Delimitación de la investigación

Retomando lo comentado con anterioridad, el uso de técnicas de bioingeniería contribuye a brindar una mayor estabilidad, mejor protección y recubrimiento al suelo. La construcción de canales y torrenteras para la debida canalización, conducción y disposición final de las aguas de escorrentía, se presentan como opciones recomendables para complementar la ejecución de obras basadas en técnicas de bioingeniería que tienen por objetivo subsanar problemáticas producto de la erosión hídrica, por lo que fueron tomadas en consideración al momento de desarrollar una propuesta para la mitigación de la erosión hídrica en el sureste del Bloque Junín 5, más específicamente, en las macollas de producción MPJ-06 y MPJ-07; planteando las posibles soluciones que podrían ser utilizadas en estas obras, que se encuentran ubicadas en diferentes zonas geomorfológicas de la zona estudiada y que actualmente presentan pérdidas de suelo considerables.

Tomando en cuenta que en las salidas de las obras de drenaje de las mencionadas macollas fueron diseñados y construidos los disipadores de energía cinética correspondientes, la propuesta para el control de erosión de esta investigación se centró únicamente en la problemática presentada en los taludes de las plataformas de las macollas. Con el fin de llevar a cabo la aplicación de estas técnicas, se estudiaron diversos factores que contribuyeron para definir las técnicas más favorables a usar en la zona estudiada, como lo fueron: la pendiente y longitud del terreno a tratar, la

composición del suelo, granulometría, potencial de hidrógeno (pH), entre otros.

Por lo tanto, con el objeto de seleccionar las técnicas aplicables con mayor conveniencia para ser utilizadas, se identificaron las zonas con mayor riesgo erosivo mediante la aplicación de la USLE, estableciendo de esta forma cuál macolla posee una mayor prioridad en su tratamiento. Luego del análisis de la información obtenida, se plantearon posibles soluciones que podrían ser aplicadas para controlar la erosión hídrica en los taludes de las plataformas de las macollas de producción MPJ-06 y MPJ-07, mediante el uso de las técnicas de bioingeniería, comprobando de antemano la compatibilidad del suelo presente con la siembra de sistemas vivos, como el vetiver. Otras técnicas que se tomaron en consideración fueron: el uso de geosintéticos, fajinas, torrenteras, entre otros.

La selección dependió de cuál técnica se adapta mejor a las características del área estudiada. Para finalizar, se procedió con la elaboración de memorias descriptivas, los cálculos hidráulicos y planos de ingeniería de detalle de las propuestas realizadas para mitigar problemas de erosión hídrica en las macollas de producción MPJ-06 y MPJ-07, ubicadas en el área sureste del Bloque Junín 5.

1.5 Generalidades de la empresa

La nacionalización de la Faja Petrolífera del Orinoco en Mayo del 2007, se realizó luego de un proceso de migración que se desarrolló de acuerdo con un cronograma establecido previamente y que culminó de manera exitosa, lo que incluyó la firma de empresas extranjeras que operaban en la Faja Petrolífera del Orinoco y en los convenios de

Exploración a Riesgo y Ganancias Compartidas, siendo fuente de reservas de hidrocarburos líquidos más grande del mundo. Comprende una extensión de 55.314 km² y un área de explotación actual de 11.593 km², ubicada al sur de los estados Guárico, Anzoátegui y Monagas, este gran reservorio petrolero fue dividido en cuatro grandes áreas, siendo éstas de oeste a este: Boyacá, Junín, Ayacucho y Carabobo, y a su vez segmentado en 29 bloques de 500 km² cada uno aproximadamente. Estas empresas extranjeras, denominadas actualmente como empresas mixtas, tienen como objetivo social el desarrollo de actividades primarias de exploración en busca de yacimientos de hidrocarburos, su extracción en estado natural, recolección, transporte y almacenamiento inicial, además de prestar servicio de ingeniería, construcción, reconstrucción y reparación para el desarrollo de proyectos. Es allí donde nació y se mantiene en operatividad PETROJUNÍN S.A. Una unión entre Petróleos de Venezuela y la Empresa Italiana ENI LASMO PLC, en el cual suscribieron acuerdos estratégicos con una inversión conjunta de 17 mil millones de dólares. El porcentaje de inversión es de 60% Petróleos de Venezuela (Venezuela) y 40% ENI (Italia).

Cabe destacar que el 22 de Diciembre del año 2010, por medio de la Gaceta Oficial N° 39.579, se decreta la creación de la empresa mixta PETROJUNÍN, S.A., luego del cual el 06 de Enero del año 2013, inicia la perforación del primer pozo de desarrollo, alcanzando hoy en día la extracción de 8000 Barriles diarios, contando con tres taladros y en la espera de tres más a partir del mes de Junio del año 2015.

1.5.1 Misión

Desarrollar actividades primarias dentro del área delimitada, incluyendo la recuperación secundaria, la dilución, almacenamiento y manejo

de los hidrocarburos producidos, incluyendo la construcción y operación de las instalaciones necesarias para el transporte del petróleo crudo extrapesado y comercialización con altos estándares de calidad, de manera eficiente, rentable, segura, transparente y en armonía con el ambiente, a través de la aplicación y transferencia de las tecnologías más apropiada, con un talento humano capacitado presto a motorizar el desarrollo económico y social del país, con la participación activa de los socios, mediante una visión humanista de aprovechamiento óptimo de los recursos hidrocarburos del subsuelo nacional y enmarcado en el Plan de la Patria.

1.5.2 Visión

Consolidarse como la Empresa Mixta Líder en la explotación y producción de crudo extrapesado de la Faja Petrolífera del Orinoco, alineada al Plan de Desarrollo Petrolero Nacional, capaz de impulsar la soberanía tecnológica y energética de la Patria socialista, propiciando así su desarrollo endógeno, el crecimiento económico y social de las áreas de influencia de PDVSA PETROJUNÍN S.A. y del país, la generación de empleos de calidad, además de la creación de riqueza y bienestar para la nación.

1.5.3 Estructura organizativa

En la Figura 1, se muestra la estructura organizativa de la empresa PETROJUNÍN.

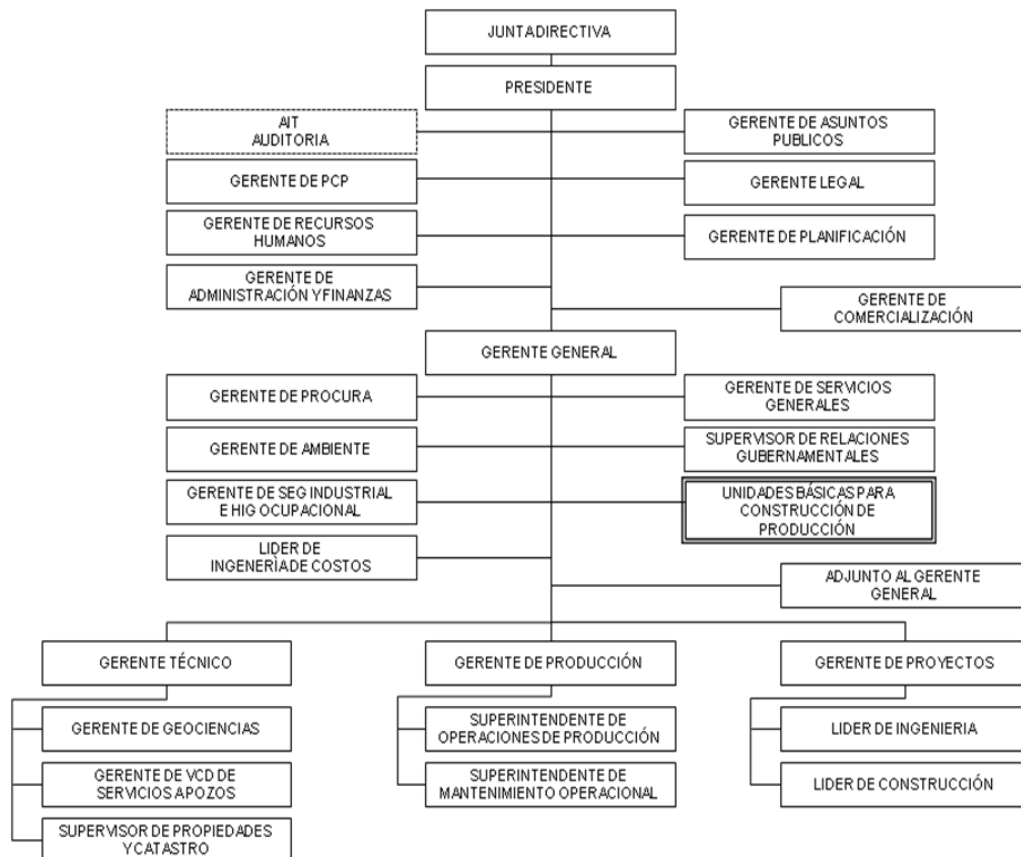


Figura 1. Estructura organizativa PETROJUNÍN (PETROJUNÍN).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Todo proyecto de investigación debe estar respaldado por trabajos que se hayan realizado con anterioridad y se encuentren relacionados con el tema central en torno al cual gira la investigación en cuestión, debido a que mediante el estudio de éstos se puede generar una idea de la forma en la que ha sido tratada anteriormente una problemática similar a la que se planea investigar.

Debido a que el uso de técnicas de bioingeniería es relativamente reciente, y tomando en cuenta los objetivos que se planean lograr en el desarrollo de la presente investigación, es difícil poder citar trabajos de investigación que sirvan un ciento por ciento como base. En cambio, si se toma una perspectiva más específica en vez de ver el panorama general, se puede decir que los siguientes trabajos de investigación sirven de base en algunos aspectos al presente:

En primer lugar, el trabajo de investigación elaborado por López (1999), en Colombia, en el que esta aplica ciertas metodologías, entre ellas la ecuación universal de pérdida de suelos (USLE), con el fin de estimar la erosión hídrica en la cuenca de un río. El aporte de López, es de mucha utilidad a la presente investigación, dado el hecho que al igual que en su investigación, en ésta se plantea llevar a cabo una estimación de erosión mediante el uso de la USLE, para luego proseguir a realizar una clasificación

del suelo perteneciente al área Sureste del bloque en zonas erosivas, basándose parcialmente en los resultados arrojados por la misma.

Otra de las contribuciones provechosas para el desarrollo de esta investigación es la realizada en Perú por García (2005), cuyo trabajo de investigación estuvo basado en el estudio exhaustivo de las diferentes alternativas de protección de taludes con el fin de aplicarlas en la protección de un canal de conducción de una central eléctrica. En esta investigación se analizan las diferentes técnicas de protección de taludes, describiendo con gran detalle los procedimientos para su diseño e implementación, además de realizar una comparación entre las características de las diferentes técnicas ejecutables para más adelante recomendar las técnicas que se deberían aplicar en los diferentes segmentos del canal de conducción para solventar el problema que se estaba presentando en éste. El trabajo resulta ser muy útil al momento de tomar en consideración las técnicas de bioingeniería que podrían seleccionarse para ser utilizadas con el fin de subsanar el problema de erosión hídrica que presenta el Bloque Junín 5.

Por otra parte, Cabezas (2013), llevó a cabo una investigación que se basó en el estudio de sistemas flexibles de estabilización superficial de taludes mediante el uso de mallas de acero y pernos de anclaje. Aunque su investigación se encuentra enfocada a la estabilización de los taludes rocosos presentes en Chile, solo haciendo una breve mención al uso de técnicas como la construcción de gaviones o el uso de geomallas para revegetación de taludes, su investigación es desarrollada considerando soluciones alternativas a los problemas que presentan los taludes, que conllevan a un impacto ambiental más bajo que el generado por el uso de los sistemas tradicionales, lo cual es también lo perseguido con el desarrollo de esta investigación, ofrecer alternativas para solucionar el problema de

erosión hídrica presente el en Bloque Junín 5, que ocasionen un menor impacto ambiental y buscando además aminorar los costos que normalmente son generados por la aplicación de los sistemas tradicionales.

El tema del trabajo de investigación efectuado por Ruiz y Holmquist (2010), radicó en una propuesta de sistema para el control de erosión en la descarga de una alcantarilla ubicada en Ciudad Bolívar, estado Bolívar, Venezuela. En este, mencionan que el método más efectivo para el control de erosión en cárcavas es el uso de vegetación con estructuras correctamente empleadas que favorezcan su crecimiento, aparte, también es estudiado con ese mismo fin, el uso de torrenteras y otras estructuras basadas en la disipación de la energía cinética del flujo, lo cual resulta ser información de suma importancia para la presente investigación, ya que según informes publicados por el Instituto Nacional de Estadística, los suelos de la zona en la que se encuentra el Bloque Junín 5, son susceptibles a la formación de cárcavas, por lo que es necesario conocer los métodos usados para el control de la erosión en estos casos.

También se encuentra el trabajo de investigación realizado por Cova (2013), en el cual se desarrolló un proyecto que consistía en realizar una propuesta de clasificación edafoclimática con fin de poder establecer plantaciones forestales con la especie pino caribe (*pinus caribae* Var. *Hodurensis*), al sur de los estados Monagas y Anzoátegui de Venezuela, en éste, como su título lo indica, Cova propone una clasificación de los suelos de la zona en base al análisis de las características físicas, biológicas, químicas de los suelos y el clima presente, estudios que se encuentran dentro del campo de la investigación de la edafología. El fragmento de la investigación realizada por Cova que puede ser considerado de provecho para el presente estudio es el referente a los análisis edafológicos que

realizó a las muestras de suelos, ya que este tipo de estudios pudieron ser de ayuda al momento de comprobar la compatibilidad de una muestra de suelo con algún tipo específico de vegetación para la implantación de sistemas vivos de protección en taludes.

Por último, se debe mencionar el trabajo de investigación desarrollado por Fernández y Di Domenico (2010), que consistía en una propuesta para lograr mejorar el sistema de abastecimiento de agua potable de una población ubicada en el municipio José Gregorio Monagas del estado Anzoátegui, Venezuela, llamada Santa Clara. Esta investigación, aunque tiene poco o nada que ver con respecto al presente trabajo, es un tanto relevante debido a que Fernández y Di Domenico, realizan una descripción de las características de la zona en la que se encuentra la población, la cual se ubica muy cerca del bloque Junín, por lo tanto, ayudó a desarrollar una idea general de las condiciones y características del bloque antes de proceder con los estudios necesarios.

2.2 Bases teóricas

Según Arias (2006), “Las bases teóricas implican un desarrollo amplio de los conceptos y proposiciones que conforman el punto de vista o enfoque adoptado, para sustentar o explicar el problema planteado” (p.107). Es de suma importancia para todo proyecto de investigación que sean definidos y aclarados los términos que se encuentren relacionados con su desarrollo. Esto servirá para dar veracidad y validez al proceso de desarrollo del proyecto y a su vez sirve como base para sustentar el mismo. A continuación se detallan las bases teóricas de la presente investigación.

2.2.1 Suelo

El suelo puede ser definido de diferentes formas, dependiendo de la perspectiva de la que se esté estudiando, por ejemplo, en el ámbito de la ingeniería civil se puede definir como los “sedimentos no consolidados de partículas sólidas, fruto de la alteración de las rocas, o suelos transportados por agentes como el agua, hielo o viento con contribución de la gravedad como fuerza direccional selectiva, y que pueden tener materia orgánica” (Duque-Escobar y Escobar, 2002) (p.16).

Así mismo, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (United States Department of Agriculture, USDA), en el año 1999, lo definió como un cuerpo natural de sólidos comprimidos, tanto minerales como materia orgánica, líquidos y gases que tiene lugar en la superficie terrestre, ocupa un espacio y se caracteriza por estar compuesto de: horizontes, que son las capas más cercanas a la superficie, que han sido alteradas por su interacción con el clima, el relieve, y organismos vivientes a través del tiempo; y la materia o la habilidad de soportar plantas enraizadas en un ambiente natural.

Siguiendo con la teoría expuesta por el USDA, el límite superior del suelo se puede especificar como el límite que separa al suelo del aire, las aguas superficiales, los materiales de plantas que aun no están en descomposición y las plantas vivas. Cabe destacar que en algunos lugares la transición entre suelos y no suelo es tan gradual que es difícil hacer una distinción clara. El límite horizontal del suelo está compuesto por las áreas en las que el suelo da paso a aguas profundas, roca, hielo o zonas áridas. Por último se encuentra el más difícil de definir, el límite inferior del suelo, el cual

según la USDA (1999), se puede colocar arbitrariamente a 200 cm con el fin de facilitar su clasificación.

2.2.2 Erosión

Duque y Escobar (2002), definen la erosión del suelo como “la remoción y el transporte de las partículas superficiales por acción del viento y del agua” (p.122), explicando que este proceso se lleva a cabo gracias a la actuación del agua en forma pluvial o de escorrentía “que en contacto con el suelo (las primeras con impacto y las segundas con fuerzas tractivas), vencen la resistencia de las partículas (Fricción o cohesión) del suelo generándose el proceso de erosión” (ibidem).

De igual manera, comentan que en la ejecución de muchos proyectos de ingeniería, es necesario que se realice “remoción de la vegetación y excavaciones de suelo generando problemas ambientales en laderas y cursos de agua por la producción e incorporación de sedimentos a las corrientes que alteran los ecosistemas naturales y generan gran cantidad de problemas por sedimentación” (ibidem); así mismo, explican que la erosión hídrica es ocasionada por agua que proviene de las precipitaciones, que implica tanto el impacto sobre el suelo de las gotas, así como también el transporte de partículas por escurrimiento.

Muelas (2010), en su libro *Mecánica de Suelo y Cimentaciones*, considera a la erosión como uno de los modos de fallos más usuales en taludes, apuntando que “el movimiento de agua puede provocar la ruina de los taludes y de las estructuras que dependen de ellos, bien mediante erosión externa degradando su geometría, bien mediante la erosión interna arrastrando materiales y provocando asentamientos o hundimientos locales” (p. 4), por lo que la protección contra la erosión y el tratamiento de los taludes ya

afectados es muy importante para mantener la integridad de las obras relacionadas a ellos.

2.2.3 Tipos de erosión hídrica

Suárez (2001) distingue cuatro tipos principales de erosión hídrica, los cuales son:

2.2.3.1 Erosión por gotas de lluvia

Ocurre por el impacto de las gotas de agua sobre una superficie desprotegida, el cual produce el desprendimiento y remoción de capas delgadas de suelo. Este impacto rompe la estructura del suelo y lo separa en partículas relativamente pequeñas que luego son transportadas por la escorrentía. Al caer una gota de lluvia levanta partículas de suelo y las reparte en un área de aproximadamente un 1 m^2 , como se observa en la Figura 2. Parte de la lluvia se infiltra y parte fluye sobre la superficie. En un suelo sin protección vegetal se calculan hasta 50 m^3 de suelo removido por hectárea en una lluvia fuerte de una hora de duración. La erosión causada por la lluvia está determinada por la cantidad, intensidad y duración de la misma. Cuando la intensidad y cantidad de lluvias es alta, la erosión será más rápida.

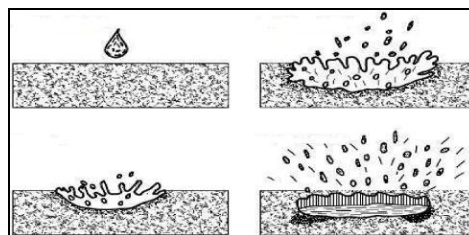


Figura 2. Erosión por golpeo de una gota de lluvia (Suárez, 2001).

2.2.3.2 Erosión laminar

Consiste en el desprendimiento y transporte en capas bien definidas superficiales de suelo por acción de la escorrentía difusa. Las gotas de lluvia actúan en forma pareja sobre la superficie del suelo, removiendo una delgada capa del suelo superficial que es transportada por la corriente producida, dejando la superficie del suelo nuevamente expuesta a la acción de sucesivas gotas de lluvia y el fenómeno se repite, como se muestra en la Figura 3. Es la forma más peligrosa de erosión hídrica ya que esta pérdida, que al principio es casi imperceptible, sólo será visible cuando pasado un tiempo haya aumentado su intensidad. Este proceso da origen a la erosión en surcos y posteriormente en cárcavas.

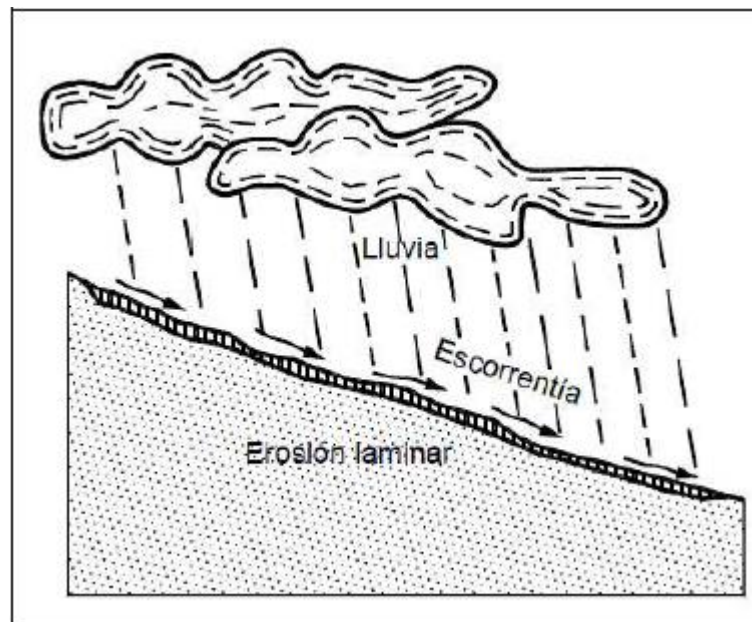


Figura 3. Proceso de erosión laminar (Suárez, 2001).

2.2.3.3 Erosión en surcos

Ocurre cuando el flujo superficial empieza a concentrarse sobre la superficie del terreno, debido a la irregularidad natural de la superficie. Al concentrarse el flujo en pequeñas corrientes sobre una pendiente, se genera una concentración del flujo, el cual, por la fuerza tractiva de la corriente, produce erosión, formándose pequeños surcos o canales, los cuales inicialmente son prácticamente imperceptibles pero poco a poco se van volviendo más profundos. En estos surcos la energía del agua en movimiento adquiere cada vez una fuerza mayor capaz de desprender y transportar partículas de suelo. Inicialmente, los pequeños canales presentan una forma en "V", la cual puede pasar a forma en "U", este tipo de erosión puede ser controlada. Caso contrario, el proceso avanza y llega a la etapa de cárcava. Si los canales de erosión tienen profundidades de menos de 30 centímetros se les clasifica como surcos y si la profundidad es mayor, como cárcavas, como puede apreciarse en la Figura 4.

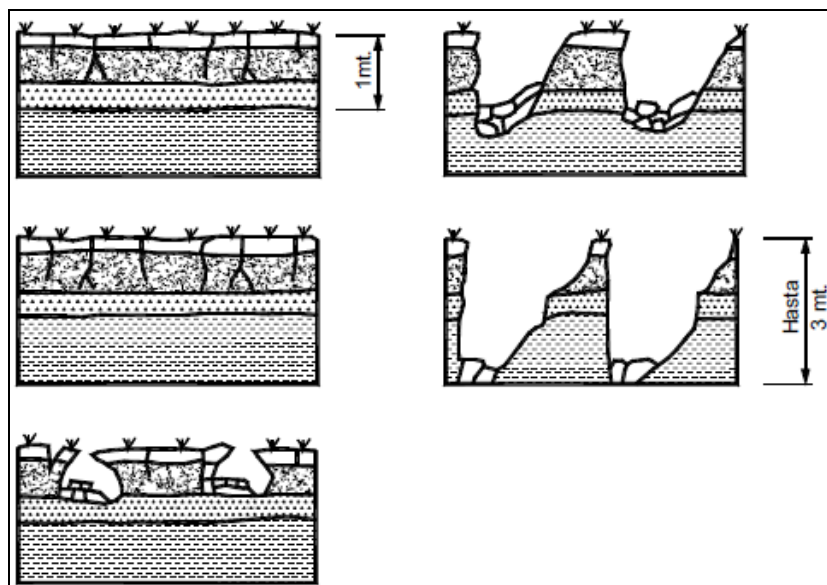


Figura 4. Procesos de formación de surcos y cárcavas (Suárez, 2001).

2.2.3.4 Erosión en Cárcavas o zanjas

Pueden definirse como conjuntos de canales que se desarrollan sobre capas de materiales no consolidados de la superficie terrestre. En la terminología internacional se les conoce como badlands. Consisten en la pérdida de grandes masas de suelo formando surcos de gran profundidad y largura, trayendo como consecuencia: pérdida de suelo, cambio en el régimen térmico, pérdida en la calidad del relieve y pérdidas en la capacidad de reserva de agua. Una vez se inicia la formación de la cárcava, esta evoluciona según la consistencia relativa que presenten los diferentes horizontes del suelo. En la actualidad, el método más efectivo para el control de cárcavas es el uso de vegetación combinado con estructuras que favorezcan su crecimiento.

Los daños asociados con la erosión en cárcavas pueden ser mucho más significativos y los riesgos para las vidas humanas pueden ser mayores en comparación con los otros tipos de erosión. Las cárcavas no son tan significativas como los surcos en términos del total de sedimentos que se producen en el mundo, pero son mucho más destructivos en términos de daño a carreteras, terraplenes, ciudades, entre otros.

2.2.3.4.1 Ampliación de las cárcavas

Las aguas de escorrentía concentrada forman inicialmente surcos, los cuales se profundizan por debajo de la cobertura vegetal. Una vez se forma la cárcava de erosión, ésta se va tornando más profunda, y se produce ampliación lateral y hacia arriba. El proceso continúa con la profundización y ensanchamiento del canal. La cabeza de la cárcava se hace más alta y esta avanza talud arriba cada vez más rápidamente, volviéndose prácticamente

incontrolable. Adicionalmente a la erosión propiamente dicha, se produce desprendimiento lateral de pequeños bloques de suelo.

La cabeza de la cárcava forma un escarpe cada vez más alto y lo mismo ocurre lateralmente. Se presentan entonces deslizamientos de tierra en estos taludes semiverticales. En este proceso se pueden formar varios canales secundarios. Al profundizarse el canal se aumenta la pendiente y la capacidad erosiva de la corriente concentrada. Si en el proceso de carcavamiento el canal se profundiza por debajo del nivel freático, se generan erosiones por exfiltración del agua subterránea hacia la cárcava acelerándose el proceso de ampliación de la cárcava. Si aparece a profundidad un manto más resistente a la erosión, el proceso de profundización disminuye pero el proceso de ampliación continúa. En el fondo de la cárcava se pueden formar gradas o caídas de agua por erosión diferencial de los diversos mantos.

A medida que se va formando la cárcava, el caudal aumenta progresivamente y se crea un desequilibrio con un nivel muy alto de turbulencia. La combinación de caudal, radio hidráulico, rugosidad y gradiente, generan un proceso de aumento progresivo de la capacidad de erosión y la erosión a su vez va modificando en forma casi geométrica los niveles de velocidad y turbulencia, creándose un proceso que puede avanzar muy rápidamente y amenazar la estabilidad de grandes áreas de terreno. El proceso generalmente no es auto-controlable, sino que se perpetúa en el tiempo afectando cada vez más áreas. Una vez se forma una cárcava, la erosión progresa hacia aguas arriba con la acción erosiva causada por el flujo concentrado dentro de la cárcava y la inestabilidad lateral.

2.2.3.4.2 Control de la erosión en cárcavas

Controlar erosión en cárcavas es difícil. En muchos casos en los cuales se han construido estructuras de concreto, gaviones de piedra o madera, estos han sido socavados y arrastrados por la cárcava, o en otros no ha modificado las causas básicas de la erosión y el proceso ha continuado. Si se logra distribuir las corrientes y evitar las concentraciones de grandes flujos se disminuye en forma importante la posibilidad de ocurrencia de cárcavas.

Hasta ahora el método más efectivo para el control de cárcavas es la vegetación con estructuras que favorezcan su crecimiento. Puede ser necesario usar métodos mecánicos, mallas, yute, fique, piedra o madera para controlar provisionalmente la erosión mientras se establece la vegetación. Generalmente, se emplea una combinación de árboles de raíz profunda con pastos y hierbas. Adicionalmente, debe controlarse las aguas mediante zanjas y canales.

Las cárcavas pueden finalmente convertirse en canales o corrientes de agua. La formación de cárcavas puede prevenirse en muchos casos utilizando prácticas conservacionistas en el uso de la tierra, especialmente con relación a la agricultura y ganadería, así como el manejo adecuado de las obras de infraestructura tales como carreteras y urbanizaciones.

Se debe evitar la concentración de aguas de escorrentía sobre zonas con cobertura vegetal deficiente. Adicionalmente, se pueden construir estructuras amortiguadoras de energía en la corriente para disminuir la velocidad del agua y en esta forma evitar la formación de cárcavas. Es mucho más sencillo prevenir su ocurrencia que controlarla una vez se haya iniciado.

2.2.3.4.3 Estabilización de cárcavas activas

Para la estabilización de la erosión en cárcavas se está haciendo popular la práctica de las cuatro D:

- Disminuir la velocidad y el caudal reduciendo el gradiente.
- Detener el flujo utilizando sistemas de represamiento.
- Desviar el flujo hacia áreas no peligrosas.
- Disipar la energía utilizando estructuras o aumentando la sinuosidad y longitud del canal.

El principio fundamental del control de la erosión en cárcavas es determinar la causa directa del proceso y el mecanismo de desarrollo. El segundo principio es el encontrar la forma de restaurar el balance y crear condiciones para la estabilización del proceso. Los sistemas de estabilización más utilizados son los siguientes:

- Redireccionamiento de los flujos de agua: cuando hay fuentes determinadas de los caudales de agua, la solución puede ser el redireccionar o controlar los flujos para que estos no pasen por la cárcava o por lo menos su caudal sea disminuido. Cuando no sea posible redireccionar los flujos se requiere construir obras para el manejo de los flujos dentro de la cárcava. Una vez controlados los flujos, se debe proceder a revegetalizar el fondo y taludes de la cárcava y estabilizar geotécnicamente los escarpes.

- Canalización de la corriente: los caudales pueden controlarse utilizando canales revestidos o tuberías para pasar por dentro o por fuera de la cárcava.
- Construcción de estructuras de disipación de energía: este sistema consiste en la construcción de vertederos o muros internos para la disminución de la pendiente del fondo de la cárcava. Una vez estabilizada la corriente se puede proceder a revegetalizar para lograr un efecto integral. La pendiente definitiva después de la construcción de las obras debe permitir la revegetación.
- Revestimiento del fondo de la cárcava: el fondo de la cárcava puede revestirse utilizando productos especiales, sintéticos, gaviones, adoquines de concreto, entre otros, en forma similar a como se revisten las riberas de los ríos. Para el diseño de revestimientos se debe analizar las características de velocidad y turbulencia de las corrientes de agua dentro de la cárcava. En todos los casos se debe colocar un filtro o geotextil como protección debajo de los revestimientos.

Es muy difícil estabilizar cárcavas solamente con vegetación, debido a la intensidad y turbulencia de las corrientes de agua; sin embargo en el caso de cárcavas de pequeña pendiente (menos de 5%) y gran ancho (más de 7 metros), es posible que una estabilización con vegetación pueda ser eficiente, siempre y cuando los caudales máximos de agua no sean demasiado grandes. El establecimiento de la vegetación inicialmente es muy difícil por la presencia de corrientes de agua pero si estas se logran manejar, podría establecerse la cobertura vegetal.

- Estructuras para almacenamiento de agua, aguas arriba de la cárcava: en ocasiones se han estabilizado cárcavas construyendo estructuras de almacenamiento de agua, aguas arriba de la cárcava con el objeto de disminuir los caudales pico. Estas estructuras son comúnmente represas cuyo objeto es demorar la escorrentía y luego liberarla poco a poco.

Debe tenerse en cuenta que si llegare a fallar el sistema se podría producir un caudal mayor que el pico de diseño, causando problemas graves de erosión.

En la Tabla 1, se observa un resumen de las diferentes técnicas recomendadas por Suárez (2001), para cumplir con los diferentes objetivos que se pueden plantear en el control de cárcavas activas.

Tabla 1. Obras para el control de erosión en cárcavas

Tipo de obra	Objetivo	Características
Estructuras para el control del fondo de la cárcava.	Impedir la profundización del canal de la cárcava.	Diques para control de pendiente o recubrimiento del fondo del canal.
Estructuras para la entrega de corrientes en el escarpe de la cárcava.	Disminuir la velocidad y turbulencia del agua en su paso por la cárcava.	Torrenteras y otras estructuras de entrega y/o estructuras de disipación en el pie del escarpe.
Protección o recuperación del área de la cárcava.	Aumentar la resistencia a la fuerza tractiva del suelo superficial.	Revestimiento con vegetación, o estructura de biotecnología.
Manejo de aguas de escorrentía.	Captación y desviación de las corrientes de agua.	Canales desviadores, cortacorrientes y estructuras de entrega y disipación.

Fuente: Suárez, 2001.

2.2.4 Factores que influyen en los procesos erosivos

Según el Instituto de Enseñanza de Noreña (2009), la erosión del suelo varía de unas regiones a otras, dependiendo esta variación de factores naturales y la influencia humana.

2.2.4.1 Naturales

2.2.4.1.1 El clima

Influyen la distribución de temperaturas a lo largo del año, las precipitaciones, entre otros. Lo importante es la distribución temporal de las lluvias, las más erosivas son las lluvias torrenciales y esporádicas. El agua al ser absorbida por los suelos arcillosos, hace que estos adquieran la plasticidad suficiente para que fluyan pendiente abajo.

2.2.4.1.2 Topografía

Este factor queda definido por las inclinaciones de las pendientes y por las longitudes de las mismas. Los procesos erosivos son más fuertes en zonas de pendientes pronunciadas que en las zonas de pendientes suaves. La pendiente facilita la erosión, de forma que con una pendiente mayor a 15%, los suelos corren el riesgo de ser erosionados.

2.2.4.1.3 Naturaleza de los terrenos

Los suelos se erosionan más o menos según su textura, estructura, composición química y mineralogía, permeabilidad y contenido de materia orgánica.

2.2.4.1.4 Cubierta vegetal

La cubierta vegetal amortigua el impacto de las gotas de lluvia al caer y frena el deslizamiento del agua (la escorrentía superficial) por las laderas, de modo que la densidad y la naturaleza de la vegetación que cubre un determinado territorio es determinante para evitar su erosión. Cuando se elimina la cubierta vegetal, como consecuencia de incendios forestales o de la actividad antrópica se favorece la erosión.

2.2.4.2 Antrópicos

2.2.4.2.1 Deforestación

La pérdida de los bosques incrementa los efectos de la erosión, la inestabilidad de las pendientes y la pérdida de suelo.

2.2.4.2.2 Sobrepastoreo

Esto hace referencia a cuando la intensidad del pastoreo es superior a la capacidad de regeneración de la vegetación. El exceso de ganado en una región determinada termina agotando las praderas naturales, compactando el suelo, dejando al descubierto la tierra y acelerando la erosión.

2.2.4.2.3 Prácticas agrícolas

La erosión se incrementa notablemente al arar y remover el terreno para introducir monocultivos, muy productivos a corto plazo, pero inestables y con menor desarrollo radicular que la vegetación natural. Y precisamente, es el sistema radicular de las plantas quien protege al suelo contra la erosión.

2.2.4.2.4 Minería a cabo abierto y obras públicas

Los desmontes que se llevan a cabo para abrir canteras, minas a cielo abierto, autopistas y otras obras, implican siempre un aumento de los procesos erosivos.

2.2.4.2.5 Expansión de áreas metropolitanas

Con el aumento de población en determinadas zonas, la construcción de viviendas y las redes de transporte, gran parte de los suelos más fértiles que rodeaban los pequeños asentamientos humanos, han desaparecido para siempre.

2.2.5 Bioingeniería

Según Sangalli y Valenzuela (2008), la ingeniería biológica o bioingeniería “Es una rama de la ingeniería en la que las plantas vivas se utilizan como elemento constructivo, conjuntamente o no con material inerte (material leñoso, piedras, hormigón, mallas metálicas, geotextiles o productos sintéticos)” (p. 1). Así mismo, acerca del uso de la bioingeniería comentan que:

La bioingeniería se utiliza en todos los ámbitos de obra civil, especialmente en el ámbito de la consolidación de taludes, riberas y para el control de la erosión. A veces, se considera la bioingeniería como sustitución de la ingeniería clásica, pero sin embargo, hay que entenderlo como un elemento necesario y complementario en las obras de ingeniería convencional. (p. 1)

En síntesis, se puede decir que la bioingeniería consiste en la introducción de vegetación en el diseño de ingeniería, pudiendo ser usada

para la protección y mejoramiento de laderas, terraplenes, taludes o estructuras de los problemas que estén relacionados con la erosión y otros tipos de derrumbes superficiales; también proporciona soluciones a las preocupaciones medioambientales relacionadas al desarrollo de la infraestructura y la progresiva erosión del suelo que resultan muy eficientes en lo que se refiere a costos.

Entre los beneficios o ventajas que se pueden señalar acerca de la implementación de bioingeniería para la protección y recuperación del suelo tenemos que:

- Genera menos impacto ambiental al incorporar material vivo natural, además de permitir la creación de zonas verdes en terrenos anteriormente degradados o baldíos.
- Las soluciones basadas en bioingeniería son más económicas al compararlas con el costo de las técnicas tradicionales de construcción para el tratamiento y control de la erosión.
- Ahorro de costes de mantenimiento y saneamiento.
- Preserva los valores estéticos y paisajísticos.
- Contribuyen a mejorar microclima.

2.2.6 Técnicas para el control de erosión

Según Suárez (2001), el control de la erosión se encuentra “dirigido a disminuir la fuerza tractiva y/o aumentar la resistencia del suelo a la erosión” (p.42). Por lo tanto, estas técnicas tienen como fin la prevención y/o

tratamiento de la erosión en suelos, pueden estar basadas en el uso de materiales inertes, materiales vivos, o incluso el uso combinado de estos. En la Tabla 2, se pueden observar las obras de estabilización recomendadas por Suárez (2001), para el control de los distintos tipos de erosión.

Tabla 2. Formas y mecanismos de erosión y obras de estabilización

Elemento erosionable	Forma	Mecanismo	Obras de estabilización
Gotas de lluvia	Semilaminar	Golpeo, desprendimiento y esparcimiento.	Cobertura vegetal de altura media y baja, revestimientos, tratamiento químico, impermeabilización.
Escorrentía	Semilaminar (difusa)	Transporte de suelos desprendidos por la lluvia y arrastre de materiales sueltos.	Cobertura vegetal, canales, recubrimiento con suelos resistentes.
	En surcos	Desprendimiento y transporte a lo largo de canales intermitentes con avance hacia arriba.	Recubrimientos diversos, cobertura vegetal, barreras, canaletas.
	En cárcavas	Desprendimiento, turbulencia en canales intermitentes con avance hacia arriba.	Recubrimientos diversos, trinchos, muros, barreras, canaletas, lavaderos, bioingeniería y biotecnología.

Fuente: Suárez, 2001.

En general, el número de técnicas existentes para el control de erosión hídrica en suelos es bastante amplio, pero entre algunas de estas se encuentran:

2.2.6.1 Muros de gaviones

Suárez (2001), define los gaviones como “un recipiente, por lo general paralelepípedo, de malla de alambre galvanizado lleno de cantos de roca” (p. 227). Suelen ser empleados para la contención de taludes, controlar la

erosión en cárcavas de diferentes tamaños y como presas filtrantes para la regularización de corrientes.

Entre las ventajas que se pueden mencionar del uso de los muros de gaviones se encuentran:

- No requieren cimentación.
- Se adaptan al terreno.
- Son de fácil diseño y rápida construcción.
- No requieren de mano de obra especializada para su construcción.
- Poseen la capacidad de soportar ciertos asentamientos sin fracturarse debido a su flexibilidad.
- Presentan condiciones de drenaje y durabilidad excelentes.
- Los materiales utilizados para su construcción pueden ser provenientes de la zona.

2.2.6.2 Obras de control de escorrentía

Estas obras tienen por finalidad interceptar y conducir la escorrentía, están basadas en la construcción de canales, entre los cuales se tienen canales interceptores, desviadores de flujo, colectores escalonados de alta pendiente, o torrenteras.

Sobre los canales interceptores, Suárez (2001), explica que estos pueden ser empleados en forma de zanjas ubicadas en la corona de los

taludes y cárcavas de erosión, así como también en sitios intermedios, y tienen como finalidad recolectar el agua de escorrentía y evitar la formación de corrientes a lo largo de la pendiente de un talud, tal y como se muestra en la Figura 5. Así mismo, especifica que los canales desviadores tienen el objeto de “desviar completamente la escorrentía y alejarla lo más posible de la estructura o talud” (p. 358). Además de las obras ya mencionadas se pueden encontrar otras como diques o también los disipadores de energía, los cuales tienen por finalidad disminuir la energía cinética que poseen las corrientes de agua recolectadas por los canales para proseguir a su debida disposición.

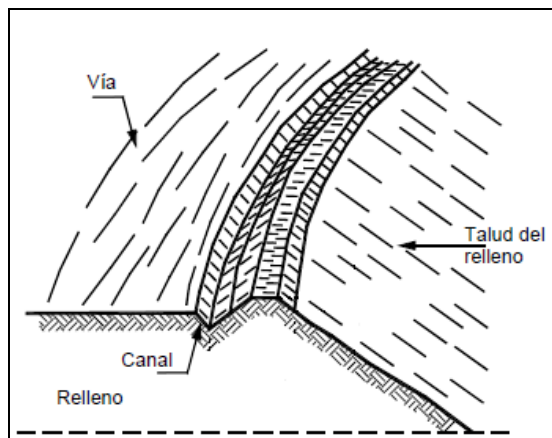


Figura 5. Canal de protección en la corona del relleno de una vía (Suárez, 2001).

2.2.6.3 Control de erosión superficial con siembra de barreras vivas de pasto vetiver u otras gramíneas

Esta técnica consiste en sembrar densamente vetiver u otras gramíneas en todo el talud que se desea tratar, lo que refuerza y protege dicho talud contra el daño causado por la erosión superficial o incluso del colapso no profundo de la superficie del terreno. Entre sus funciones se

tienen: capturar el material erosionado que baja por el talud, reforzar el talud con un denso tapiz de raíces fibrosas, además de proteger la superficie del talud del impacto de las gotas de lluvia e impedir la socavación alrededor de las obras donde esta técnica es utilizada. En la Tabla 3 se muestran los diferentes beneficios que ofrece el uso de vegetación en el control de la erosión y la estabilización de taludes.

Tabla 3. Beneficios de la vegetación frente a la erosión y la estabilidad del talud

Influencia en la erosión superficial	Protección mecánica	El follaje y los residuos de las plantas disipan la energía de la lluvia y previenen la separación de las partículas del suelo por salpicadura.
	Refuerzo biomecánico del suelo en profundidad	Las raíces retienen las partículas del suelo aumentando su resistencia a la erosión laminar y, sobre todo, al flujo concentrado.
	Retención	El follaje y los tallos incrementan la aspereza del terreno, disminuyendo la velocidad de la escorrentía.
	Infiltración	Las plantas y otros residuos ayudan a mantener la porosidad y permeabilidad del suelo, retrasando el comienzo de la escorrentía.
Influencia en la estabilidad del talud	Refuerzo de las raíces	Las raíces refuerzan mecánicamente el suelo transfiriendo la tensión de corte del suelo a una resistencia a tracción sobre ellas.
	Disminución de la humedad del suelo	La transpiración y la interceptación por el follaje, puede reducir la humedad y limitar el aumento de una presión de poro positiva.
	Refuerzo	Los tallos pueden actuar como pilotes de refuerzo o apeo, o los contrafuertes de un arco, para contener las fuerzas de corte.
	Sobrecarga	El peso de la vegetación puede, en algunas circunstancias, incrementar la presión de confinamiento de la capa de deslizamiento del talud.

Fuente: Giráldez, 2014.

2.2.6.3.1 Vetiver

El vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), es una planta herbácea de desarrollo muy rápido, de ciclo largo y sin tallo aparente y puede alcanzar una altura de 0,5 a dos metros, en menos de seis meses. El sistema radicular no es invasivo, de raíces rígidas, muy largas, verticales, de grosor uniforme y pueden ser blancas o rosadas. Este sistema radicular es extremadamente poderoso y muy resistente, crece en dirección vertical (ver Figura 6), hasta más de cinco metros de profundidad, formando una barrera con fuerte anclaje en el subsuelo, lo que permite mantener al suelo protegido y sujeto.

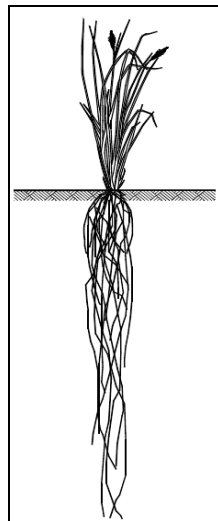


Figura 6. Esquema de una planta de pasto vetiver (Suárez, 2001).

El vetiver se desarrolla en diversos tipos de suelos, con pH que va desde muy ácidos (pH = 3) a muy alcalinos (pH = 11). También tolera muy bien los metales pesados y tóxicos. El rango de temperatura que resiste va desde los -15°C (por corto período de tiempo) hasta más de 40°C, siendo el rango óptimo de 20-30°C.

El requerimiento de agua de esta planta es escaso, debido a que tiene un sistema radicular extenso y abundante. Si hay una buena distribución de las lluvias se desarrolla bien, sin necesidad de riego, siendo su requerimiento mínimo de 300 milímetros de precipitación anual y un óptimo a partir de 700 milímetros. La planta de vetiver puede soportar sequías extremas, debido a su alto contenido de sales de la savia de sus hojas, así como también inundaciones por largos períodos, llegando a los 45 días de inundación en el terreno.

2.2.6.3.1.1 Ventajas del uso del vetiver para el control de erosión

Según García, Clemente, Díaz, Centeno e Isaac (2015), entre las ventajas del uso del vetiver como barrera viva se tienen:

- El eficaz desempeño del vetiver como planta para el control de la erosión ocasionada por lluvias fuertes, además de ser excepcionalmente útil en la estabilización de taludes, gracias a sus características y su adaptabilidad a diferentes condiciones edafoclimáticas,
- Forma una barrera densa y compacta, que ayuda a retener los sedimentos, además de disminuir la velocidad del agua de escorrentía que fluye por la superficie del suelo.
- Su sistema radical fibroso, denso y ramificado ancla la planta firmemente al suelo, permitiendo que este soporte el escurrimiento de agua y sedimentos superficiales.
- Requiere poco mantenimiento, usualmente es suficiente con una o dos podas al año.

- No es una planta invasora, no produce estolones ni rizomas, por lo que no se corre el riesgo que se convierta en una maleza, permitiendo así que las barreras vivas de vetiver se mantengan en el sitio y la disposición planificada.
- Se adapta a diferentes condiciones edafoclimáticas, es capaz de soportar condiciones extremas de alcalinidad, acidez, fertilidad, sequías, exceso de agua y rangos de temperatura, así como también diferentes pisos altitudinales.

2.2.6.3.1.2 Propagación

La forma más eficiente de propagar el vetiver es por la vía asexual, utilizando esquejes o haces enraizados de la planta, ya que de esta forma se mantendrán las características genéticas de la planta madre. El esqueje o haz enraizado debe tener 15 a 20 centímetros de alto, compuesto por partes de la planta; hojas y una pequeña cantidad de raíces, que deben tener un aproximado de 5 centímetros de largo. Se recomienda que las plantas usadas para sacar esquejes no sean viejas, debido a que de serlo, el crecimiento del esqueje será muy lento y habrá mayor pérdida de plantas.

2.2.6.3.1.3 Obtención de esquejes o haces enraizados

Los pasos recomendados por García *et al.* (2015), para la obtención de los esquejes de vetiver son los siguientes:

- Extraer la macolla de vetiver, acción que puede realizarse mediante el empleo de un pico o una chícora, debido a la extensión y fortaleza del sistema radicular, que hacen imposible la extracción de forma manual (ver Figura 7).



Figura 7. Extracción de macolla de vetiver con un pico (García *et al.*, 2015).

- La macolla debe ser regada con abundante agua luego de sacarla. Si no se va a sembrar de manera inmediata, se debe evitar la exposición directa al sol, colocándose en un lugar sombreado (ver Figura 8).



Figura 8. Macolla de vetiver extraída (García *et al.*, 2015).

- Emplear el uso de un cuchillo o machete adecuadamente afilado para cortar las hojas de las macollas, a unos 15 o 20

centímetros, medidos desde la base de la planta, eliminando en el proceso las hojas secas y podridas. A continuación, cortar las raíces a 5 centímetros, medidos desde la base de la planta, esto con el fin de disminuir la transpiración y proveer una mayor facilidad para la supervivencia de la planta, impidiendo que se sequen, por último, lavar con agua limpia para retirar los restos de tierra (Ver Figura 9).



Figura 9. Corte de macollas de vetiver (García *et al.*, 2015).

- Seccionar los esquejes o haces enraizados, que constituyen el material a sembrar (ver Figura 10).



Figura 10. Extracción de esquejes de vetiver y esquejes listos para la siembra (García *et al.*, 2015).

2.2.6.3.1.4 Siembra de los esquejes

Para llevar a cabo satisfactoriamente el proceso de siembra de los esquejes o haces enraizados de vetiver se deben tener presentes las siguientes consideraciones:

- Llevar al campo el material que se estima pueda ser sembrado en un día. Para sembrar un metro lineal hacen falta un aproximado de siete (7) haces. Un trabajador siembra en promedio 70 metros lineales por día, lo que da un total de 490 haces por día.
- La superficie del terreno debe estar libre de malezas.
- Los haces deben ser plantados en hileras dobles o triples, de tal forma que formen cercos paralelos.

2.2.6.3.1.5 Mantenimiento de las barreras vivas

- Se deben revisar las barreras sembradas con vetiver aproximadamente a los 30 días después de la siembra. En caso de existir fallas, se debe realizar una reposición (replantar esquejes donde sea necesario). Es de vital importancia para el correcto y eficiente funcionamiento de la barrera que esta quede completa.
- Durante los primeros tres meses se debe realizar el control de malezas, de esta forma asegurar un mejor desarrollo de las plantas.
- Realizar una poda a los tres o cuatro meses después de la siembra es recomendable, a una altura entre 30 a 50 centímetros, para de esta forma promover el macollamiento. Luego será suficiente el llevar a

cabo dos podas anuales, haciendo esto se logra uniformizar el desarrollo y tamaño de las plantas.

2.2.6.4 Fajinas vivas

Son barreras de vegetación usadas para controlar la formación de surcos y cárcavas en un talud, según Suárez (2001), éstas “permiten el paso del agua pero impiden el paso de sedimentos gruesos” (p. 371), ocasionando sedimentación en canales. Por lo tanto, es necesario retirar los sedimentos que se van acumulando en estas cada cierto tiempo.

Las fajinas vivas están construidas a partir de especies leñosas, formando fardos con una estructura cilíndrica colocada con las estacas orientadas, en general, de forma paralela al relieve de la pendiente (ver Figura 11).

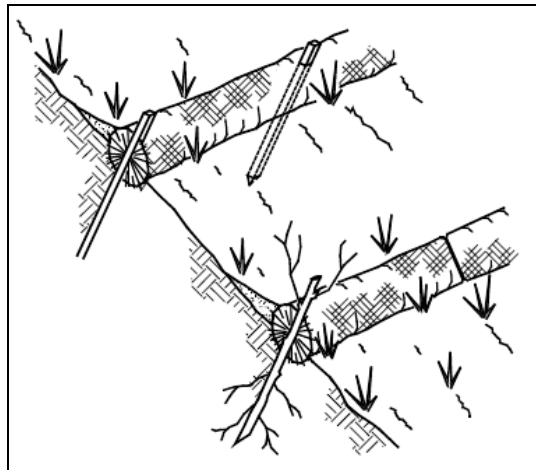


Figura 11. Fajinas en taludes (Suárez, 2001).

Según Sangalli y Valenzuela (2008), las fajinas vivas “sirven para disipar la energía de las aguas de escorrentía que descienden, atrapando los

detritos y dando lugar a una serie de bancales en los que las especies herbáceas, arbustivas y arbóreas se asientan más fácilmente” (p. 7). Con la utilización de fajinas vivas se puede observar un incremento inmediato de la estabilidad de la superficie del terreno, además, estas pueden aumentar la estabilidad del suelo hasta una profundidad de casi 1 m, a medida que las raíces se van desarrollando.

2.2.6.5 Geosintéticos

Los geosintéticos, son materiales son obtenidos a partir de varios tipos de polímeros derivados del petróleo, que utilizados para mejorar las propiedades del suelo, poseen propiedades mecánicas e hidráulicas, útiles para ciertos tipos de suelos. Debido a esto, mejoran y hacen posible la ejecución de proyectos de ingeniería civil y geotécnica en difíciles condiciones. Suárez (2001), define los geosintéticos como: “productos de ingeniería, enrollables, fabricados con polímeros como el polipropileno, el poliéster, el nylon y el polietileno” (p.194) (ver Figura 12).

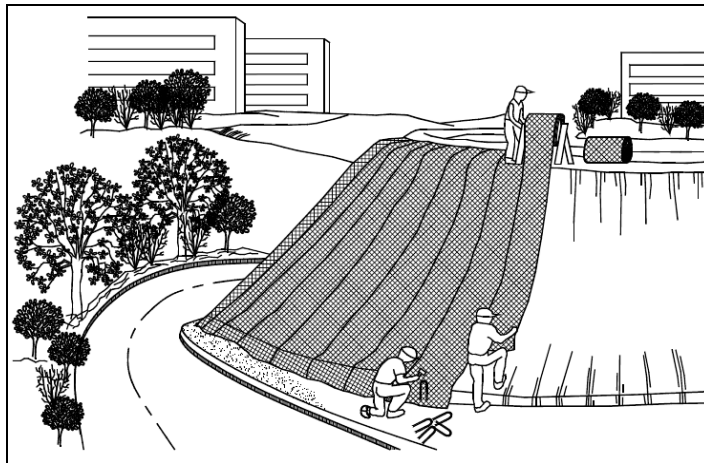


Figura 12. Instalación de mantos para control de erosión en taludes (Suárez, 2001).

Generalmente, los geosintéticos son fabricados en rollos, que son desenrollados para ser aplicados en una superficie, así mismo, el uso de un geosintético viene complementado por la colocación de otro geosintético o siembra de vegetación. Los geosintéticos son usados comúnmente para separar capas de materiales o proteger contra la erosión, ya sea de forma temporal mientras se establece la vegetación, o de forma permanente.

Según Suárez (2001), los geosintéticos pueden clasificarse en:

- Geomembranas.
- Geotextiles.
- Geomallas.
- Geocompuestos.
- Mantos sintéticos para el control de erosión o geomantos.
- Esterillas tridimensionales.
- Matriz de hilos sintéticos continuos.
- Fibras sintéticas sostenidas por un pegante.

Para el desarrollo de esta investigación fue tomada en cuenta la aplicación de geomembranas y geomantos.

2.2.6.5.1 Geomembranas

Las Geomembranas son láminas de caucho o materiales plásticos de muy baja permeabilidad que se emplean principalmente como impermeabilizantes, o como barreras hidráulicas; existen muchos tipos diferentes de membranas sintéticas a base de plásticos y de elastómeros muy fáciles de instalar, de igual manera, generalmente los proveedores facilitan catálogos muy completos sobre sus características y colocación. Algunas membranas son atacadas por ciertos líquidos y se debe ser cuidadoso al escoger el tipo de geomembrana; cuya utilización debe hacerse teniendo en cuenta el comportamiento específico de cada tipo de membrana.

2.2.6.5.2 Mantos sintéticos para el control de erosión o geomantos

Son láminas relativamente gruesas formadas con filamentos sintéticos estabilizados contra la acción de los rayos ultravioleta, generalmente polipropileno, polietileno o nailon, de sección rectangular o cónica, simplemente agrupados con ayuda de redecillas, aglutinantes o costuras muy sencillas, o bien fuertemente entrelazados entre sí, que pueden o no incluir capas de fibras de origen vegetal. Los tejidos y el material de protección de la vegetación (Mulching) son cosidos para garantizar la integridad de las mantas.

Sus funciones son las de reducir la capacidad erosiva de los escurrimientos, proteger al suelo, acelerar la germinación de especies vegetales implantadas, reforzar las raíces, o varias de ellas. Debido a esto, se instalan sobre taludes para evitar su erosión, como elementos de protección permanente o temporal, y combinadas o no, con siembra de semilla. Al ser aplicado en conjunto con siembra de semillas, generalmente se coloca primero la semilla por un proceso de hidrosembrado y luego esta

se cubre con el manto sintético. Una vez germina la semilla, la vegetación emerge a través de los vacíos del geomanto.

La colocación de estos mantos debe hacerse en tal forma que el movimiento del agua no los doble o desestabilice. Los mantos se deben traslapar colocando primero los de abajo y aguas abajo y luego proceder hacia aguas arriba y hacia arriba del talud, en la misma forma como se colocan las tejas de una casa. La parte superior e inferior de los mantos debe enterrarse en el suelo utilizando zanjas de profundidad aproximada de 30 centímetros (ver Figura 13).

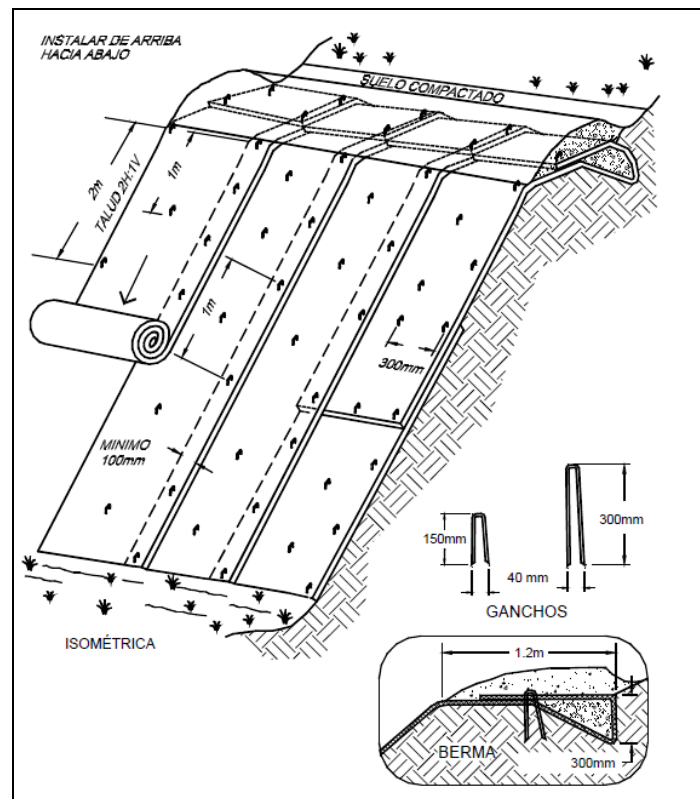


Figura 13. Detalle del procedimiento de instalación de mantos para control de erosión (Suárez, 2001).

Se fabrican con diferentes propiedades pudiendo agruparse de la siguiente manera:

- Mallas sintéticas delgadas, con baja porosidad y resistencia mecánica limitada, que se utilizan únicamente como materiales de cubierta, para aplicaciones temporales.
- Mallas sintéticas gruesas, que contienen capas de fibras vegetales, con estructura tridimensional, alta porosidad y suficiente resistencia para permitir el llenado de sus poros con suelo.

2.2.7 Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo

La ecuación universal de pérdidas de suelo (universal soil loss equation, USLE) es uno de los procedimientos para estimar pérdidas de suelo con mayor aceptación y difusión en diversos países, esta ecuación fue formulada inicialmente por Wischmeier y Smith en el manual de agricultura 282 del Departamento de Agricultura de Estados Unidos en 1962, siendo publicada posteriormente en su forma definitiva en el Manual 537 del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, en el mes de diciembre del año 1978. La principal base para su desarrollo estuvo establecida en experimentos realizados en parcelas agrícolas situadas al este del río Mississippi.

La hipótesis en la que se basa esta ecuación está centrada en la consideración de las precipitaciones como el principal agente activo de la erosión superficial, estableciendo de esta forma que las pérdidas de suelo anuales son directamente proporcionales al índice de erosividad de las lluvias, el cual está relacionado a su vez con la energía cinética de cada aguacero y la intensidad máxima de estos.

La aplicación de esta ecuación dará como resultado una estimación de las pérdidas de suelo anuales, como valor promedio de un período representativo de años, que se producen en una parcela o superficie de terreno debidas a la erosión superficial, laminar y en surcos o regueros, ante unas determinadas condiciones de clima, suelos relieve, vegetación y usos del suelo.

La USLE contempla la acción de diversos factores: precipitación, suelos, topografía, cobertura y prácticas de conservación. La expresión básica de la ecuación es:

$$A = R.K.L.S.C.P \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

A: Pérdida de suelo ($\text{Mg.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$).

R: Energía erosiva de la lluvia ($\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$).

K: Erosionabilidad del suelo [$(\text{Mg.ha}^{-1}).(\text{Mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1})^{-1}$].

L: Relación (adimensional) de pérdida de suelos originada por la longitud de la pendiente.

S: Relación (adimensional) de pérdida de suelo originada por el gradiente de la pendiente.

C: Relación (adimensional) de pérdida de suelo originada por el manejo y uso de la tierra (cobertura de cultivo generalmente).

P: Relación (adimensional) de pérdida de suelo originada por el uso de prácticas de conservación.

La ecuación universal de pérdidas de suelo sirve como una guía metodológica para la toma de decisiones en la planeación de la conservación del suelo.

2.2.7.1 Factor R

González (1991), precisa que el factor de erosividad de la lluvia “recoge la influencia que sobre la erosión tiene la energía cinética de los aguaceros, disgregando las partículas del suelo y compactando su superficie, y su intensidad máxima, determinando la aparición de escorrentía superficial cuando se supera la capacidad de infiltración” (p.15).

Páez, Rodríguez y Lizaso (1989), establecieron ecuaciones de regresión para determinar la erosividad de las lluvias mensualmente en diversas localidades del país, en función de la lámina promedio mensual ($L_{(mm)}$).

Según el sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge, la zona en la que se encuentra el Bloque Junín 5 se clasifica como bosque seco tropical. Por lo tanto, para el cálculo del factor R en todo el Bloque Junín 5 se puede usar la ecuación propuesta por Páez *et al*, para esta zona en específico.

$$\text{“Bosque seco tropical”}: \quad R = -190,5 + 8,8.L \quad (\text{Ec. 2})$$

2.2.7.2 Factor K

El factor de erosionabilidad del suelo representa la vulnerabilidad del suelo a la erosión, siendo así una característica propia de cada suelo que según González, M. (1991) se encuentra “ligada a su granulometría, porosidad, condiciones hidrológicas, etcétera, y distinta a la «erosión» del suelo, proceso resultante de esta erosionabilidad, expuesta a unas determinadas condiciones de clima, relieve y cobertura vegetal” (p.16).

Páez y Pla (1989), proponen una fórmula que obtuvieron luego de analizar suelos venezolanos y que posee un alto poder predictivo, además de que los datos necesarios para su cálculo son fácilmente obtenibles:

$$K = -0,3136 + 0,0093(L + amf) - 0,0044(Arc) + 0,0742(PH) - 0,0086(Gr) \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

L + amf: Porcentaje de limo mas arena muy fina.

Arc: Porcentaje de arcilla.

PH: PH en agua 1:1.

Gr: Porcentaje de grava entre 2 mm y 8 mm.

El resultado obtenido del cálculo debe multiplicarse por 0,1 para obtener la erosionabilidad del suelo en $[(\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}) \cdot (\text{Mj} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1})^{-1}]$.

2.2.7.3 Factor LS

También conocido como factor topográfico, se encuentra compuesto por los factores L y S, y representa el efecto combinado de la longitud de ladera y el ángulo de inclinación, o pendiente, de esta. El valor de este factor es muy útil para realizar la estimación de las pérdidas producidas en un terreno en comparación a las pérdidas generadas si una misma lluvia cayera sobre una parcela de 22,1 m de longitud y 9% de pendiente, teniendo condiciones idénticas de tipo de suelo, cultivo y manejo.

2.2.7.3.1 Factor L

El factor de longitud de ladera, es un valor adimensional, definido por González, M. (1991) como:

Cociente entre la tasa de erosión anual de una parcela con una longitud de ladera determinada l , y la tasa de erosión de esa parcela con las mismas condiciones del clima (R), suelo (K), pendiente (S) y vegetación (C,P), y de longitud de ladera igual a 22,1 m que corresponde a la parcela estándar, donde L es igual a la unidad. (p. 21)

Este valor se obtiene a partir de una ecuación que fue generada a partir del estudio de la relación entre las pérdidas de suelo de las parcelas típicas y parcelas bajo condiciones distintas de longitud de pendiente.

$$L = (\lambda/22,1)^\mu \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

λ : Longitud de pendiente (m).

μ : factor dependiente del gradiente.

$$\mu = 0,6 [1 - e^{(-35,835.s)}] \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

s: Gradiente de la pendiente.

2.2.7.3.2 Factor S

Este es conocido como el factor de pendiente, el cual es definido por González (1991) como:

Cociente entre la tasa de erosión de una determinada parcela con una pendiente s y la tasa de erosión de esa parcela con las mismas condiciones de R , K , L , C , y P pero con una pendiente del 9% considerada «estándar», donde S es igual a 1 y θ es el ángulo del declive. (p.21)

Este valor se obtiene a partir de una ecuación que fue generada a partir del estudio de la relación entre las pérdidas de suelo de las parcelas típicas y parcelas bajo condiciones distintas de gradiente de pendiente, McCool, Brown, Foster, Mutchler y Meyer (1987) recomiendan que para pendientes mayores a 9% se utilice la siguiente ecuación:

$$S = 16,8 \text{ sen}\theta - 0,5 \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

θ : Ángulo de la pendiente.

2.2.7.4 Factor C

Rojas (2009) define a este factor como “un índice del grado de cobertura y protección que presenta la vegetación” (p.74), de los factores de

la USLE es el que es más variable y sujeto a cambios. También añade que “representa la relación entre la pérdida de suelo de una superficie sin vegetación, $C=1$, y la erosión con la cobertura en consideración” (p.83).

Así mismo, Wischmeier y Smith (1978) precisan que para áreas de construcción, en las que generalmente debido a las preparaciones del sitio toda la vegetación y raíces son removidas del suelo, no sólo dejándolo sin protección, sino también privándolo de los efectos residuales de la vegetación establecida anteriormente en este, puede ser asumido el factor como $C=1$. Esto debido a que las raíces y los efectos residuales de la vegetación que existía anteriormente en el suelo, además de los mantos de cobertura parcial de vegetación reducen substancialmente el proceso erosivo, viéndose estas reducciones reflejadas en la predicción de pérdida de suelos con valores del factor C menores que 1, por lo tanto, la falta de estos implica que las reducciones al factor C sean nulas y este pueda ser tomado como $C=1$.

2.2.7.5 Factor P

Según Rojas (2009), este factor también conocido como factor de práctica conservacionista, expresa o “refleja el efecto de las prácticas de conservación de suelos que tienden a modificar la topografía, tales como terrazas, cultivos en franjas y curvas de nivel” (p. 78). Representando de esta forma la “relación entre la erosión producida sin ninguna práctica conservacionista, $P=1$, y la erosión producida con prácticas conservacionistas” (p.84).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación

Para Tamayo y Tamayo (2004), “cuando se va a resolver un problema en forma científica, es muy conveniente tener un conocimiento detallado de los posibles tipos de investigación que se pueden seguir” (p. 44). El conocimiento de estos, permite evitar las equivocaciones a la hora de elegir el método adecuado para el desarrollo del proyecto.

Para el desarrollo del presente proyecto se adoptó un tipo de investigación proyectiva, que según Hurtado (2000), “involucra creación, diseño, elaboración de planes, o de proyectos” (p. 328), y consiste en “la elaboración de una propuesta, un plan, un programa o un modelo, como solución a un problema o necesidad de tipo práctico” (p. 325). Por su parte, Tamayo y Tamayo (2004), menciona que la investigación descriptiva es aquella que “comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, y la composición de los fenómenos” (p. 46).

Dicho esto, se debe indicar que el presente estudio está ubicado en una tipología proyectiva con fases descriptivas, debido a que fue necesaria la descripción y análisis de las características de los suelos que pertenecen al área de estudio, en función de proponer una metodología constructiva para el tratamiento centrado en predicción, prevención y corrección del desgaste en las superficies erosivas de las diferentes zonas geomorfológicas en el área sureste del bloque Junín 5, Edo. Anzoátegui, utilizando técnicas de bioingeniería.

3.2 Diseño de investigación

El diseño de investigación fue definido por Arias (2006), como “la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado” (p. 26), y la clasifica en: de campo, documental y experimental. Esta clasificación es usada por diversos autores que, aunque difirieren en algunos detalles unos de los otros, mantiene básicamente la misma idea general. Por ejemplo, UPEL en el 2006, definió la investigación de campo como:

El análisis sistemático de problemas en la realidad, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia, haciendo uso de métodos característicos de cualquiera de los paradigmas o enfoques de investigación conocidos o en desarrollo. (p. 11)

Siguiendo esta línea de ideas y analizando la estrategia con la que se desarrolló esta investigación, puede decirse que califica como una investigación de campo, ya que se recolectaron los datos necesarios de las características y condiciones del suelo, para solucionar un problema existente en la realidad, el cual se encuentra representado por la erosión hídrica en los suelos de las áreas operacionales existentes en el Bloque Junín 5, con el fin de proceder con el análisis sistemático de estos datos, lo que permitió el desarrollo de la propuesta de tratamiento contra la erosión hídrica. Todo esto mediante la utilización de datos que fueron tomados directamente del sitio donde ocurren los hechos. Esto último coincidiendo con lo enunciado por UPEL (2006), acerca de investigación de campo, donde demarcan que “Los datos de interés son recogidos en forma directa de la realidad; en este sentido se trata de investigaciones a partir de datos originales o primarios” (p. 11).

3.3 Técnicas a utilizar

3.3.1 Técnicas de recolección de datos

3.3.1.1 Observación directa

Según Arias (2006), la observación puede ser definida como “técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos” (p.69), por lo tanto se puede decir que el uso de esta técnica es fundamental para una investigación de campo, ya que permite la obtención de la información necesaria del objeto de estudio de primera mano. Gracias a la implementación de esta técnica, mediante un reconocimiento visual en las macollas de producción de PETROJUNÍN MPJ-06 y MPJ-07, se logró obtener una imagen clara del estado actual de deterioro de los taludes, percibiendo así el riesgo que actualmente corren los taludes de las plataformas de las mencionadas macollas de producción, así como la gravedad del problema de erosión hídrica que se está presentando en todo el Bloque Junín 5.

3.3.1.2 Revisión documental.

Según Hurtado (2000), la revisión documental es una técnica en la que “se recurre a información escrita, ya sea bajo la toma de datos que pueden haber sido producto de mediciones hechas por otros o como texto que en sí mismo constituyen los eventos de estudio” (p.427). Mediante esta técnica se complementó la investigación, consultando textos como manuales, libros de texto, tesis de grado, artículos publicados en revistas, páginas de Internet, entre otros; cuyo contenido fuese referente al tema de estudio

abordado, con el fin de recolectar toda la información posible que se encontrara disponible y de esta forma asentar las bases en las cuales se apoyó la investigación.

3.3.1.3 Entrevista no estructurada.

Según Corbetta (2007), define la entrevista como: “una conversación provocada por un entrevistador con un número considerable de sujetos elegidos según un plan determinado con una finalidad de tipo cognoscitivo” (p.179), es decir, es una forma específica de interacción social en la que el investigador, o entrevistador en este caso, se sitúa frente al entrevistado y le formula preguntas, cuyas respuestas generarán datos de utilidad o interés para el desarrollo de la investigación.

Con el fin de complementar la información requerida para el desarrollo del proyecto se llevaron a cabo conversaciones con distintos trabajadores de la empresa PETROJUNÍN, que poseían información relevante sobre el tema, así como trabajadores de otras empresas como RIOCARIS, OTINCA y PETROCEDEÑO.

3.3.2 Técnicas de análisis de información

Las técnicas de análisis que se utilizaron en este estudio fueron de forma cualitativa y cuantitativa, debido a que facilitan la clasificación y análisis de la información a obtener en el desarrollo de la investigación.

3.3.2.1 Ecuación universal de pérdida de suelos

A través de esta herramienta se permitió indicar cuál de las macollas de producción estudiadas presenta un mayor riesgo de pérdida de suelos debido a la acción de la erosión hídrica, lo cual ayudó a establecer los

lineamientos a seguir para la elaboración de la propuesta para controlar la misma.

3.4 Etapas de la investigación

Las etapas que se cumplieron con el propósito de dar soluciones a la problemática planteada y lograr alcanzar los objetivos propuestos son:

3.4.1 Revisión bibliográfica

La revisión bibliográfica consistió en la búsqueda y el análisis de material relacionado con el tema de estudio, lo concerniente a temas como erosión de suelos, investigación de los datos que fueron necesarios para llevar a cabo la aplicación de la ecuación universal de pérdidas de suelo, factores que influyen en la fertilidad de suelos, las técnicas existentes de control de erosión basadas en el uso de bioingeniería, de diversas fuentes, entre las cuales se encuentran: libros, tesis de investigación cuyos temas se relacionan con el tema estudiado en esta investigación, artículos de publicaciones técnicas, entre otros.

3.4.2 Identificar las zonas con potencial erosivo a partir de planos topográficos y características físico-químicas del suelo existente en el Bloque Junín 5

En esta etapa se recopiló la información existente sobre las características del área sureste del bloque Junín 5 de la FPO, proveniente de planos y estudios previos realizados por la empresa PETROJUNÍN, además de estudios de granulometría, para conocer las características físicas del suelo y estudios químicos para la determinación del pH de este, de los cuales se obtuvo un promedio con el fin de tener una idea más clara de las

condiciones del suelo en los taludes de las macollas de producción MPJ-06 y MPJ-07, además de las pendientes y las longitudes de los mismos.

Todos éstos datos fueron comparados con la finalidad de identificar de manera preliminar cual de las zonas estudiadas es más propensa a ser afectada por la erosión hídrica, permitiendo de esta forma establecer, de manera preliminar, las prioridades correctamente al momento de aplicar medidas para el control de erosión en estas.

3.4.3 Indicar las zonas con mayor riesgo de degradación por pérdida de suelo debida a la erosión hídrica a través de la ecuación universal de pérdidas de suelo (universal soil loss equation, USLE)

En esta etapa se llevó a cabo la recolección de datos disponibles sobre precipitaciones en el área de estudio y se realizaron los estudios necesarios para llevar a cabo la estimación de erosión mediante el uso de la USLE, la cual se encuentra expresada en la ecuación 1 (Ver página 68).

En esta ecuación intervienen diversos factores, como lo son: la energía erosiva de la lluvia, la erosionabilidad del suelo, el gradiente y longitud de la pendiente considerada, las prácticas de conservación aplicadas, así como también el manejo y uso del suelo. La USLE fue evaluada en las zonas del sureste del Bloque Junín 5 de la FPO donde se encuentran ubicadas las macollas de producción MPJ-06 y MPJ-07, para luego relacionar los resultados obtenidos de la aplicación de la ecuación con la Tabla 4, realizada por Edeso, J.; Marauri, P.; Merino, A.; González, M. (1997), para la interpretación del nivel del proceso erosivo dependiendo del resultado arrojado por la USLE.

Tabla 4. Interpretación de pérdida de suelos

PÉRDIDAS DE SUELO (T/Ha.año)	INTERPERTACIÓN
0	Zonas no susceptibles al proceso erosivo, como puedan ser espacios urbanos, carreteras, embalses, etc.
0 a 5	Zonas con niveles de erosión muy bajos y pérdidas de suelo tolerables. No hay erosión neta.
5 a 10	Zonas con niveles de erosión bajos y pérdidas de suelo que pueden ser tolerables. Probablemente no hay erosión neta.
10 a 25	Zonas con procesos erosivos leves. Existe erosión, aunque no es apreciable a simple vista.
25 a 50	Zonas con procesos erosivos moderados. Existe erosión, aunque puede no ser apreciable a simple vista.
50 a 100	Zonas con procesos erosivos graves. Existe erosión y es apreciable a simple vista.
100 a 200	Zonas con procesos erosivos muy graves. Existe erosión y se manifiesta a simple vista.
Más de 200	Zonas con procesos erosivos extremos. Existe erosión y es evidente a simple vista.

Fuente: Edeso *et al.*, 1997.

Además de la comparación de los resultados obtenidos con la interpretación de nivel de erosión propuesta por Edeso *et al.*, se comparó todo esto con lo visto en campo, relacionando así los datos teóricos y prácticos con lo observado en la realidad, permitiendo de esta forma relacionar las propuestas de mitigación de erosión con los niveles de erosión presentes.

3.4.3.1 Factor R

Para el cálculo del factor de erosividad de la lluvia se utilizó la ecuación 2 (Ver página 69), establecida por Páez *et al.*, (1989), en función de

la lámina promedio mensual ($L_{(mm)}$) en las zonas que se consideran como bosque seco tropical, según el sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge.

También fueron usados datos extraídos de registros de precipitación publicados por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, de los cuales fueron excluidos los años en los que en algún mes no se realizó ninguna medición, debido a que estas irregularidades terminarían afectando el cálculo del factor de erosividad de la lluvia.

Teniendo ya los valores de lámina mensual en cada uno de los años tomados en consideración, se procedió a Calcular la lámina promedio mensual, realizando un promedio de las láminas promedio de cada año, los cuales fueron utilizados para el cálculo del factor de erosividad de la lluvia para cada año, que finalmente serían empleados para conseguir un factor de erosividad de la lluvia promedio en la zona.

3.4.3.2 Factor K

El factor de erosionabilidad del suelo fue calculado mediante la ecuación 3 (ver página 70), propuesta por Páez y Pla (1989), obtenida luego del análisis de suelos venezolanos.

Siguiendo las recomendaciones de Páez y Pla (1989), el resultado de la aplicación de la ecuación 3 se multiplicó por 0,1 para obtener la erosionabilidad del suelo en $(Mg.ha^{-1}).(Mj.mm.ha^{-1}.h^{-1})^{-1}$.

Debido a que las características del suelo difieren en ambas macollas, el factor de erosionabilidad del suelo debe calcularse por separado, uno para MPJ-06 y otro para MPJ-07. Para este cálculo fueron utilizados los estudios

de suelo llevados a cabo por la empresa GEOHIDRA en el Bloque Junín 5. Obteniendo para las zonas de las macollas un promedio en la distribución del tamaño de las partículas del suelo.

3.4.3.3 Factor L

El factor de longitud de ladera se calculó con la ecuación 4 (ver página 71). La longitud de pendiente a utilizar fue la de mayor longitud presente en cada uno de los taludes de cada macolla, distancias extraídas de los planos de implantación general suministrados por la empresa PETROJUNÍN, debido a que estas representarán el valor más desfavorable posible. Mientras que el valor de μ fue conseguido por la aplicación de la ecuación 5 (ver página 71).

3.4.3.4 Factor S

El factor de pendiente fue calculado con la ecuación 6 (ver página 72), la cual fue propuesta por McCool *et al.* (1987), a partir del estudio de la relación entre las pérdidas de suelo de las parcelas típicas y parcelas bajo condiciones distintas de gradiente de pendiente, siendo la ecuación en cuestión la recomendada para pendientes mayores a 9%.

3.4.3.5 Factor C

Wischmeier y Smith (1978) precisan que para áreas de construcción, puede ser asumido el factor como $C=1$. Esto debido a las preparaciones de construcción en sitio, en las que toda la vegetación y raíces son removidas del suelo, se deja el suelo sin protección, privándolo de los efectos residuales de la vegetación establecida anteriormente en este, además de los mantos de cobertura parcial de vegetación que reducen substancialmente el proceso

erosivo, implicando que las reducciones al factor C sean nulas y éste pueda ser tomado como $C=1$.

3.4.3.6 Factor P

Según Rojas (2009), este factor representa la “relación entre la erosión producida sin ninguna práctica conservacionista, $P=1$, y la erosión producida con prácticas conservacionistas”. Por lo tanto, al no estar actuando eficientemente ninguna práctica conservacionista, el valor del factor de pérdida de suelo originada por el uso de prácticas de conservación fue tomado como 1.

3.4.4 Plantear diversas técnicas de bioingeniería para el control de la erosión, compatibles con las condiciones de fertilidad del suelo existente

Esta etapa consistió en estudiar y comparar las técnicas de bioingeniería que tentativamente serían aplicadas para el control de la erosión hídrica, con el fin de encontrar cuál de ellas sería más apropiada para el desarrollo de la propuesta de mitigación del proceso erosivo activo en distintas obras del área sureste del Bloque Junín 5.

Tomando en consideración los datos obtenidos y los análisis realizados de los estudios ejecutados, se procedió a relacionar los resultados de estimación de erosión hídrica con la situación actual en el Bloque Junín 5, permitiendo esto la creación de una clasificación de erosión actuante según el estado de gravedad del proceso erosivo. La etapa finalizó con la elaboración de las propuestas de mitigación enfocadas a cada caso de erosión presente.

3.4.4.1 Criterios tomados en consideración para los cálculos hidráulicos

La ejecución de los cálculos hidráulicos correspondientes al diseño del sistema de intercepción de aguas de lluvias que fluyen hacia los taludes de la Macolla MPJ-07, se realizó usando las ecuaciones y criterios mencionados a continuación.

- El sistema de aguas de lluvia para la captación, conducción y disposición de dichas aguas, contará con canales interceptores en la cresta del talud, así como un sistema de cunetas en la parte inferior de éstos con sus respectivos disipadores. El sistema operará por gravedad.
- Para el diseño sólo se consideraron las aguas provenientes de las lluvias.
- La velocidad mínima a sección llena será de 0,60 m/s y la máxima de 2,10 m/s.

3.4.4.2 Cálculo de caudales

El método empleado para la determinación del caudal de las aguas de lluvia precipitadas sobre las áreas, es el Método Racional.

$$Q = C \times I \times A \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

Q: caudal (caudal de diseño en l/s).

C: Coeficiente de escorrentía.

I: Intensidad de la lluvia (l/s/ha).

A: área drenada o servida (ha).

Para la determinación de la intensidad (I) de la lluvia, se empleo el gráfico “Rainfall Intensity-Duration Curve, Frequency=10 year” proporcionado por PETROCEDEÑO, que se muestra en la Figura 14.

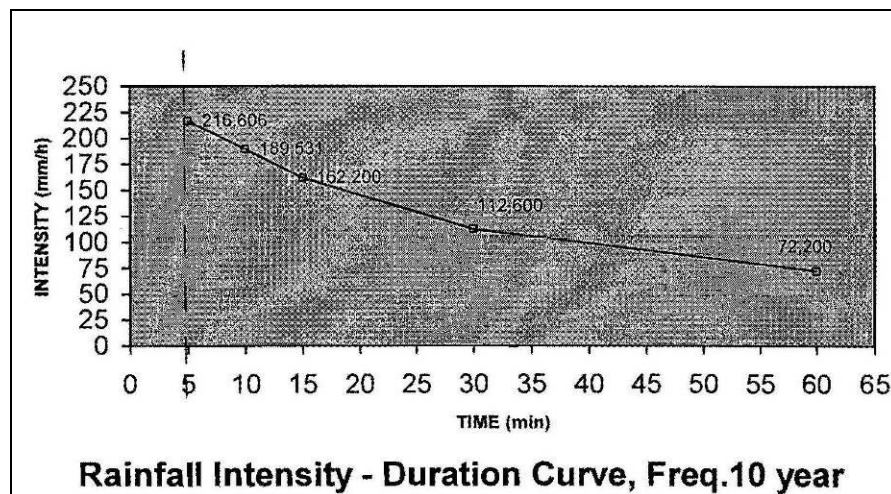


Figura 14 Curva IDF, Frecuencia 10 Años. Estación San Diego de Cabrutica (PETROCEDEÑO).

La intensidad de la lluvia se determinó por los parámetros hidrológicos siguientes:

- Período de retorno: 10 años.
- Tiempo mínimo de concentración T_c : 5 minutos.

- El coeficiente de escorrentía: La selección de estos se realizó utilizando la Tabla 5, tomando como referencia la cobertura vegetal del terreno y la pendiente de este.

Tabla 5. Coeficiente de escorrentía

Coeficiente de escorrentía "c"						
Cobertura vegetal	Tipo de suelo	Pendiente del terreno				
		Pronunciada	Alta	Media	Suave	Despreciable
		50%	20%	5%	1%	
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,55	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba, grama	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosques, densa vegetación	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Fuente: MOP, 1967.

- La velocidad mínima a sección parcialmente llena será de 0,61 m/s.
- El coeficiente de Manning será de 0,015, seleccionado de los valores de rugosidad según el material del cual se compone la superficie del canal, propuestos en Tabla 6, tomando en este caso el concreto como superficie.

Tabla 6. Valores del coeficiente de rugosidad “n”

Superficie	n
Ladrillo vitrificado	0,012 - 0,015
Acabado de cemento liso	0,011 - 0,013
Mortero de cemento	0,012 - 0,015
Madera cepillada	0,012 - 0,014
Concreto	0,014 - 0,018
Piedras grandes, guijaro	0,030 - 0,035
Metal liso	0,012 - 0,015
Cemento y mampostería	0,020 - 0,030
De tierra rectos	0,020 - 0,025
De piedra uniforme	0,030 - 0,035
De tierra con vegetación	0,030 - 0,040
Tierra con vegetación y piedras	0,033 - 0,040
Con depresiones y vegetación	0,060 - 0,080

Fuente: Rojas, H. 2010.

3.4.4.3 Cálculo hidráulico de canales y cunetas

Para el cálculo hidráulico de los canales y cunetas se empleó la ecuación de Manning para flujo uniforme y régimen permanente.

$$Q_{cap} = \frac{1}{n} \times Rh^{2/3} \times S^{1/2} \times A \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde:

Qc: Caudal a sección plena.

n: Coeficiente de Rugosidad.

Rh: Radio hidráulico ($R_h=A/P$).

A: Área de la sección.

P: Perímetro mojado.

Las cotas se estimaron utilizando la pendiente mínima permitida, 0,3%.

El procedimiento de cálculo se inició con la determinación del tirante del canal mediante la aplicación del criterio de máxima eficiencia hidráulica, que puede ser observado en la Tabla 7, y la sustitución de las ecuaciones de área y radio hidráulico en la ecuación 8.

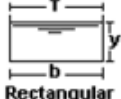

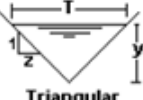


Tabla 7. Criterios de máxima eficiencia hidráulica

Sección transversal	Área A	Perímetro mojado P	Radio Hidráulico R	Ancho superficial T	Profundidad hidráulica D	Factor de sección Z
Trapezio, medio hexágono	$\sqrt{3} \cdot y^2$	$2\sqrt{3} \cdot y$	$\frac{1}{2} \cdot y$	$\frac{4}{3} \cdot \sqrt{3} \cdot y$	$\frac{3}{4} \cdot y$	$\frac{3}{2} \cdot y^{2.5}$
Rectángulo, medio cuadrado	$2 \cdot y^2$	$4 \cdot y$	$\frac{1}{2} \cdot y$	$2 \cdot y$	y	$2 \cdot y^{2.5}$
Triángulo, medio cuadrado	y^2	$2\sqrt{2} \cdot y$	$\frac{1}{4} \cdot \sqrt{2} \cdot y$	$2 \cdot y$	$\frac{1}{2} \cdot y$	$\frac{\sqrt{2}}{2} \cdot y^{2.5}$
Semicírculo	$\frac{\pi}{2} \cdot y^2$	$\pi \cdot y$	$\frac{1}{2} \cdot y$	$2 \cdot y$	$\frac{\pi}{4} \cdot y$	$\frac{\pi}{4} \cdot y^{2.5}$
Parabola $T = 2\sqrt{2} \cdot y$	$\frac{4}{3} \cdot \sqrt{2} \cdot y^2$	$\frac{8}{3} \cdot \sqrt{2} \cdot y$	$\frac{1}{2} \cdot y$	$2\sqrt{2} \cdot y$	$\frac{2}{3} \cdot y$	$\frac{8}{9} \cdot \sqrt{3} \cdot y^{2.5}$

Fuente: Fernández, F. y Julca, J.

A partir de esto fue calculada la base de los mismos y se comprobó que tuvieran la capacidad necesaria para contener el caudal de diseño, además de verificar si la velocidad en el canal cumplía con las condiciones estimadas de velocidades mínimas y máximas. Para el cálculo de la capacidad, el área y el radio hidráulico se utilizaron las ecuaciones de la Tabla 8. El valor de “z” en el cálculo de las cunetas, fue tomado como 1, ya que este es el estipulado por el criterio de máxima eficiencia hidráulica en canales triangulares, por lo que la relación de pendiente en éstas es de 1H:1V.

Tabla 8. Relaciones geométricas de secciones transversales en canales

Sección	Area hidráulica A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Espejo de agua T
 Rectangular	by	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b+2zy$
 Triangular	zy^2	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta})\frac{D}{4}$	$\frac{(\text{sen}\frac{\theta}{2})D}{2\sqrt{y(D-y)}}$
 Parabólica	$\frac{2}{3}Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T+8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

Fuente: Villón, M. 2007.

La profundidad del canal o cuneta es la suma del tirante calculado por el criterio de máxima eficiencia más el borde libre. Según el Ministerio de Obras Públicas, el borde libre mínimo es de 0,1 m, que fue tomado así para las cunetas, aunque también puede ser asumido según la base o plantilla del canal, teoría expuesta por Villón, M. y puede observarse en la Tabla 9, como se hizo con los canales.

Tabla 9. Borde libre según la base del canal

Ancho de base (m)	Borde libre (m)
Hasta 0,80	0,40
de 0,80 a 1,50	0,50
de 1,50 a 3,00	0,60
de 3,00 a 20,00	1,00

Fuente: Villón, M. 2007.

3.4.4.4 Cálculo hidráulico de torrenteras

El análisis hidráulico de las torrenteras consiste en determinar la longitud mínima de la huella para cada escalón, siendo necesario para esto realizar una tabla con las siguientes columnas:

Tabla 10. Análisis hidráulico de torrenteras

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
b	Q	Yc	Escalón	a	K	Y0	X0	Y1/Y0	Y1	d/Y0	dminC	dminA

En las que:

- Columna 1: base o ancho de aproximación del canal.
- Columna 2: Caudal de diseño.

- Columna 3: Tirante crítico, el cual fue calculado mediante la siguiente ecuación:

$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g \times b^2}} \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde:

Q: Caudal de diseño

g: gravedad (9.81 m/s²)

b: ancho del canal

- Columna 4: Numero de escalón.
- Columna 5: Contrahuella o altura del escalón, este valor se asumió tomando en consideración el desnivel a cubrir con la torrentera y el número de escalones de esta.
- Columna 6: Altura relativa del escalón, resultado de dividir la altura del escalón entre el tirante crítico, como se observa en la ecuación 10.

$$K = \frac{a}{Y_c} \quad (\text{Ec. 10})$$

- Columna 7: Altura normal, igual al tirante crítico en el primer escalón, mientras que en los demás es igual a la altura del torrente al pie del escalón anterior.
- Columna 8: Factor de torrentes relativos, resultado de dividir la altura normal entre la altura del torrente al pie del escalón, como es mostrado en la ecuación 11.

$$X_0 = \frac{Y_0}{Y_c} \quad (\text{Ec. 11})$$

- Columna 9: Relación entre la altura del torrente al pie del escalón y la altura normal, hallada en la Figura 15.

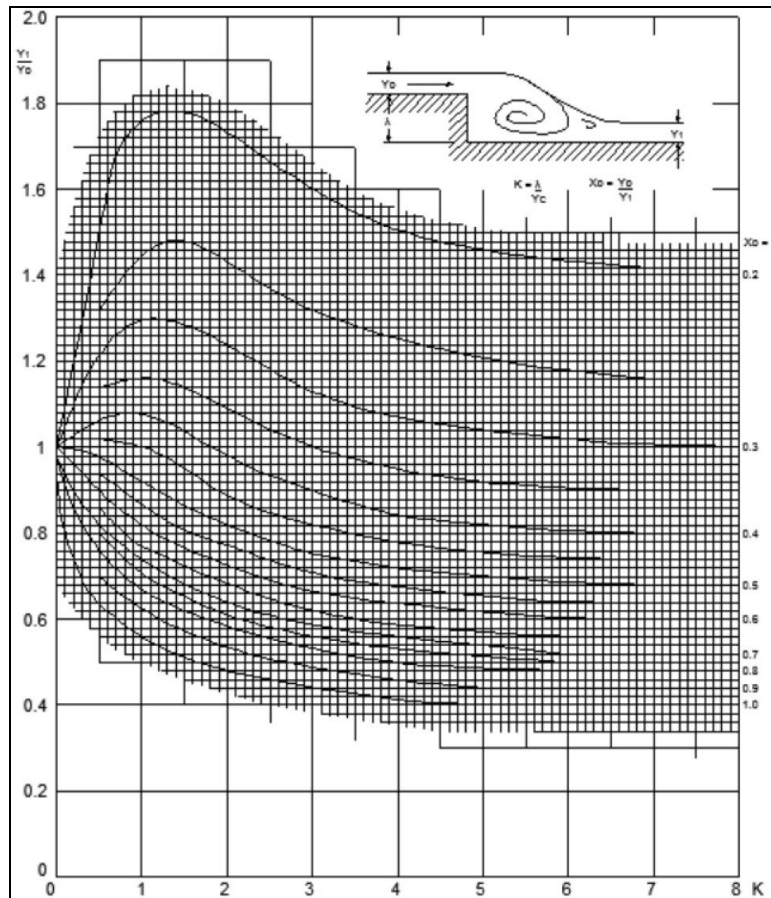


Figura 15. Gradas de bajada anteceditas y seguidas de flujo supercrítico
(Bolinaga, J. 1979).

- Columna 10: Altura del torrente al pie del escalón, conseguida al despejar el valor de “ Y_1 ” del resultado arrojado por la Figura 15.

- Columna 11: relación entre el tamaño de la huella y la altura normal, hallada en la Figura 16.

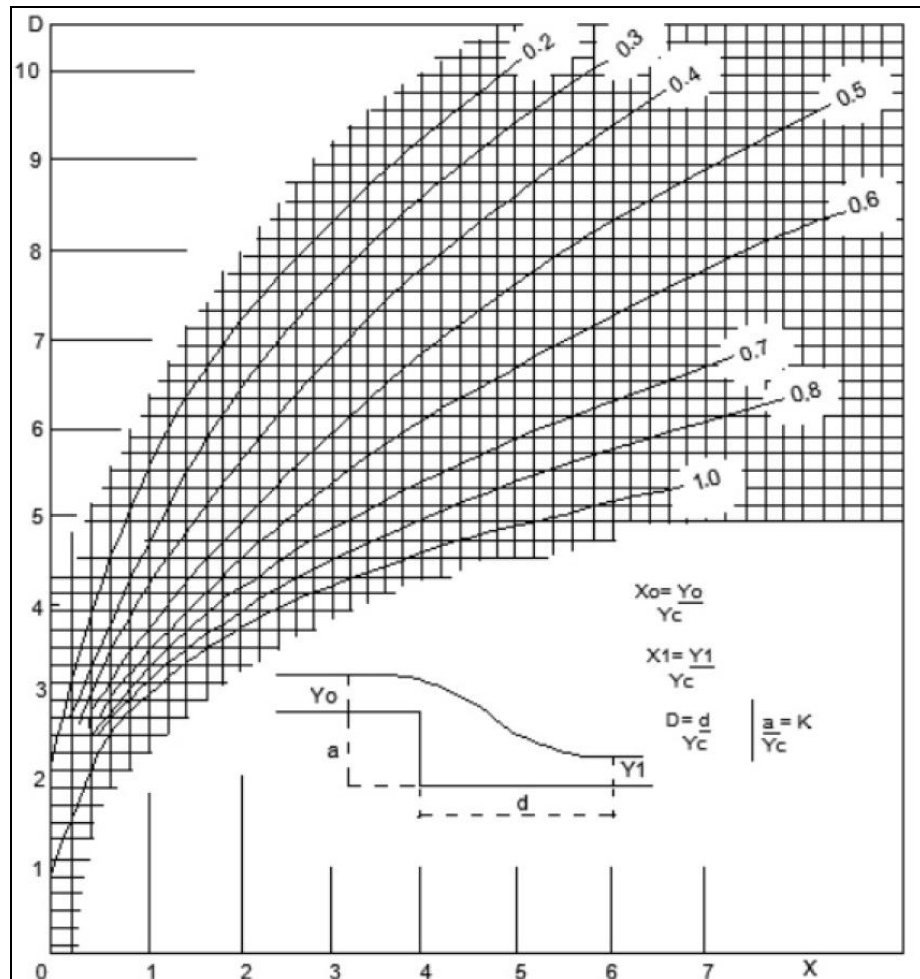


Figura 16. Distancia entre gradas en flujo supercrítico (Bolinaga, J. 1979).

- Columna 12: Tamaño de la huella del escalón calculado, conseguida al despejar el valor de "d" del resultado arrojado por la Figura 16.

- Columna 13: Tamaño de la huella del escalón ajustado al sitio, tomando en consideración la longitud del desnivel que cubrirá la torrentera y el número de escalones.

Por otra parte, debido a que el resalto hidráulico generado por la implementación de torrenteras ocasionará un cambio en el tirante del canal, se utiliza la ecuación 12, para realizar el cálculo del tirante esperado en la salida de este. El cual permitirá conocer la velocidad de salida y facilitará la selección del disipador correspondiente al caso.

$$Y_2 = -\frac{Y_1}{2} + \sqrt{\left(\frac{Y_1}{2}\right)^2 + \frac{2 \times Q^2}{g \times Y_1}} \quad (\text{Ec. 12})$$

3.4.4.5 Disipadores

Debido a experiencia en proyectos anteriores realizados por la empresa PETROJUNÍN, se ha concretado la estandarización del diseño de los disipadores, recomendando que las dimensiones de los disipadores de enrocado sean estimadas en función a la velocidad del caudal en la salida del canal, como se observa en la Tabla 11, para los cuales la energía del fluido se disipa de forma satisfactoria.

Tabla 11. Dimensiones estandarizadas para disipadores de enrocado.

Tipo	Velocidad (m/s)	Dimensiones (m)
1	Hasta 1,2	2,00 x 1,50
2	1,2 - 1,7	3,00 x 2,50
3	Más de 1,7	4,00 x 3,50

Fuente: PETROJUNÍN.

El tirante en la salida de los canales, en los que se propone la construcción de torrenteras, se realizó utilizando la ecuación 12, para luego determinar la velocidad en la salida del canal usando esta altura para el cálculo del área y el caudal de diseño correspondiente. Mientras que para las cunetas fue usado el tirante generado por el caudal de diseño para la determinación del área. El cálculo de la velocidad se realizó aplicando la ecuación 13.

$$V = \frac{Q}{A} \quad (\text{Ec. 13})$$

3.4.5 Elaborar planos de ingeniería de detalle de las técnicas planteadas para la mitigación del proceso erosivo en obras ejecutadas por la empresa PETROJUNÍN

En esta etapa se elaboraron los planos de ingeniería de detalle necesarios para la implementación de las propuestas planteadas para la mitigación del proceso erosivo en el Bloque Junín 5, utilizando el *software* AutoCAD.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Características del suelo de la zona

La zona de estudio se encuentra al suroeste del estado Anzoátegui, sobre la Faja Petrolífera del Orinoco, y se caracteriza por una suave topografía, determinada por la presencia de amplias y extensas mesetas (mesas). La región está representada por una columna estratigráfica con formaciones sedimentarias detríticas, con abundante materia orgánica.

Los materiales aflorantes en la zona de estudio corresponden a la formación mesa, siendo esta de edad cuaternaria, concretamente del Pleistoceno y esta localmente recubierta por materiales aluvionales del Cuaternario reciente (Qal), predominando las unidades geomorfológicas de mesa conservada y mesa quebrada en zona sureste. Está representada por arenas de grano grueso, gravas y conglomerados con estratificación cruzada y cementos ferruginosos que le otorgan tonalidades rojizas y generan numerosas superficies de *hardground*, con alternancias de lentes de limolita y arcilla arenosa al sur. El estudio realizado se concentró en las ubicaciones de las construcciones ejecutadas en las siguientes unidades geomorfológicas de la zona sureste del bloque en específico: mesa ligeramente ondulada y mesa fuertemente quebrada. En la Figura 17, se puede observar en detalle el Bloque Junín 5, además de la zona específica de estudio, el área sureste del mismo, donde se encuentran las macollas de producción MPJ-06 y MPJ-07.

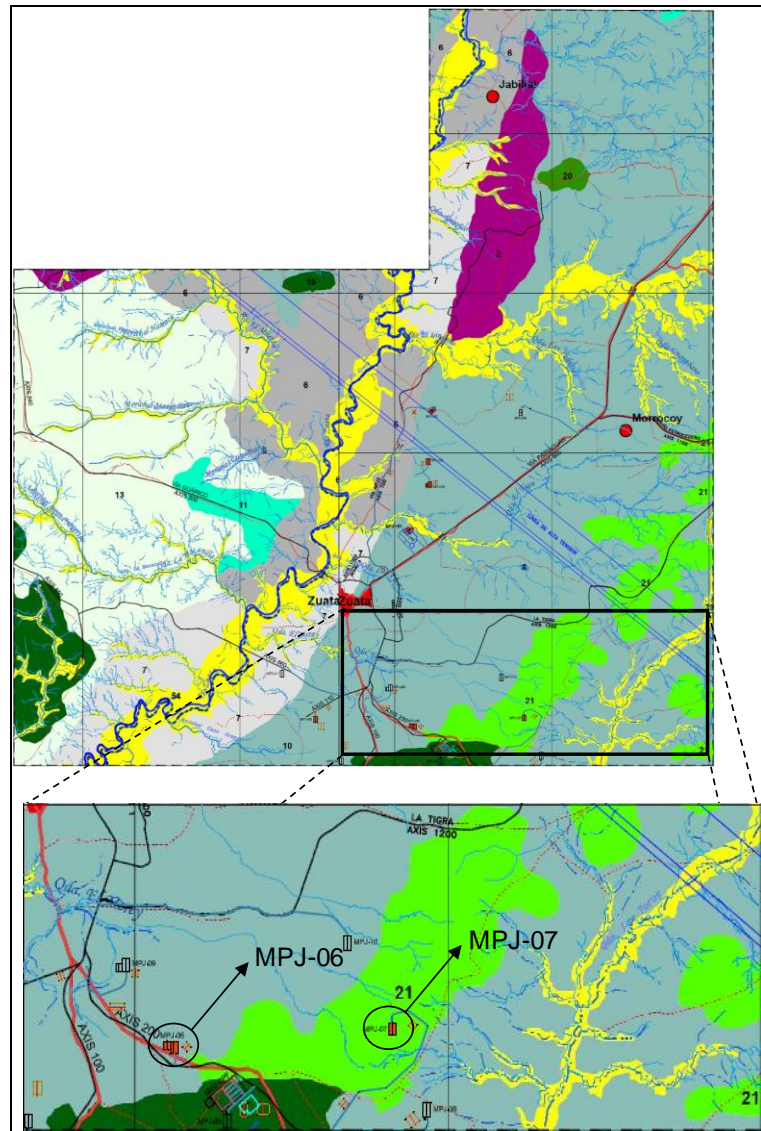


Figura 17. Zona de estudio, Bloque Junín 5.

En general, el espesor de la formación mesa es muy variable, disminuye de norte a sur como consecuencia del cambio en la sedimentación fluvio-deltaica y aumenta de oeste a este como consecuencia del avance de los sedimentos deltaicos. En la Figura 18, se muestra la ubicación relativa del

área de estudio en un mapa geológico del sector, donde se observan los afloramientos de las Formaciones Las Piedras, Mesa y Paria.

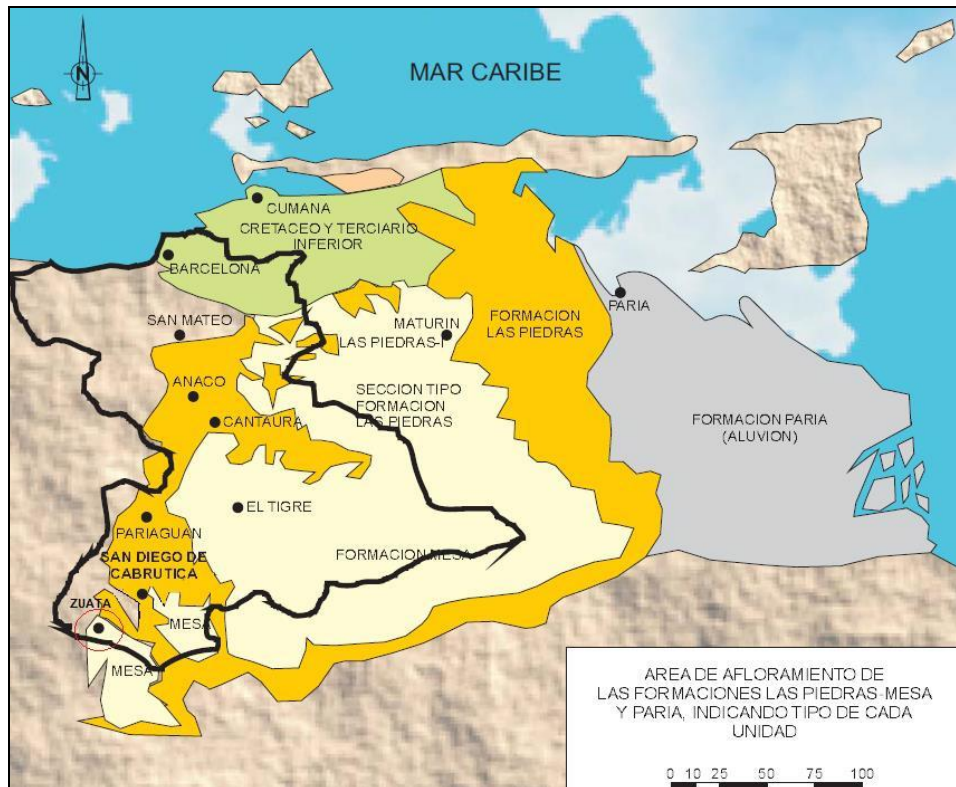


Figura 18. Geología de la región, afloramientos (González de Juana, 1980).

Gracias al análisis de estudios geotécnicos realizados por la empresa Geohidra en el bloque Junín 5 se pudo conocer de una forma más exacta la distribución de los tamaños de las partículas que conforman el suelo en el área de las macollas de producción MPJ-06 y MPJ-07, mediante el estudio granulométrico de perforaciones realizadas en las plataformas de las mismas, el cual se muestra en las Tablas 12, 13, 14, 15 y 16.

Tabla 12. Granulometría perforación P1-MPJ-06

Perforación: P1-MPJ-06			Designación standard de tamices						Porcentaje total			Clasificación
Muestra	Prof (m)	peso (g)	3/4"	#4	#10	#40	#60	#200	grava	arena	fino	
1	0,55 - 1,00	50	100	100	100	97,3	96,5	48,94	0	51	49	SM
3	2,55 - 3,00	127,21	100	100	100	99,5	99,2	34,64	0	65	35	
5	4,55 - 5,00	51,48	100	100	100	98,4	97,7	68,67	0	31	69	CL
6	5,55 - 6,00	122,86	100	100	98,8	32,2	27,7	22,74	0	77	23	
8	7,55 - 8,00	180,47	100	100	100	45,7	30,7	25,73	0	74	26	
10	9,55 - 10,00	50,17	100	100	100	50,8	43,4	36,18	0	64	36	SC

Fuente: PETROJUNÍN.

Tabla 13. Granulometría perforación P2-MPJ-06.

Perforación: P2-MPJ-06			Designación standard de tamices						Porcentaje total			Clasificación
Muestra	Prof (m)	peso (g)	3/4"	#4	#10	#40	#60	#200	grava	arena	fino	
1	0,55 - 1,00	51,64	100	100	100	75,3	10,8	33,27	0	67	33	SM
2	1,55 - 2,00	133,63	100	96,1	95,2	74,2	69,8	35,36	4	61	35	
3	2,55 - 3,00	156,77	100	100	99,9	20,5	12,5	8,68	0	91	9	
6	5,55 - 6,00	119,39	100	100	100	16,4	9,6	4,55	0	95	5	
8	7,55 - 8,00	128,36	100	100	100	26,1	10,4	4,85	0	95	5	
10	9,55 - 10,00	90	100	100	100	99,4	83,5	23,67	0	76	24	

Fuente: PETROJUNÍN.

Tabla 14. Granulometría perforación P3-MPJ-06

Perforación: P3-MPJ-06			Designación standard de tamices						Porcentaje total			Clasificación
Muestra	Prof (m)	Peso (g)	3/4"	#4	#10	#40	#60	#200	grava	arena	fino	
1	0,55 - 1,00	52,6	100	100	100	91,8	85,9	35,99	0	64	36	SM
2	1,55 - 2,00	50,75	100	100	100	91,2	83,8	30,6	0	69	31	SM
3	2,55 - 3,00	138,29	100	100	99,7	97,3	95,6	49,79	0	50	50	
4	3,55 - 4,00	50,09	100	100	100	98,7	97,6	41,29	0	59	41	SC
5	4,55 - 5,00	169,33	100	99,8	99,5	93,5	88,5	30,93	0	69	31	
7	6,55 - 7,00	108,45	100	100	100	96,7	95,9	50,68	0	49	51	
9	8,55 - 9,00	50,58	100	100	100	55,6	45,5	32,66	0	67	33	SC

Fuente: PETROJUNÍN.

Tabla 15. Granulometría perforación P1-MPJ-07

Perforación: P1-MPJ-07			Designación standard de tamices						Porcentaje total			Clasificación
muestra	prof (m)	peso (g)	3/4"	#4	#10	#40	#60	#200	grava	arena	fino	
1	0,55 - 1,00	51,03	100	100	100	96,3	88,9	37,51	0	62	38	SC
2	1,55 - 2,00	106,73	100	99,9	97,3	90,7	86,6	55,06	0	45	55	
3	2,55 - 3,00	53,42	100	100	100	98,9	97,4	85,04	0	15	85	CH
7	6,55 - 7,00	155,21	100	91,8	87,3	78	58,6	25,77	8	66	26	
9	8,55 - 9,00	166,08	100	100	95,2	65,8	41,7	22,44	0	78	22	

Fuente: PETROJUNÍN.

Tabla 16. Granulometría perforación P2-MPJ-07.

Perforación: P2-MPJ-07			Designación standard de tamices						procentaje total			Clasificación
muestra	prof (m)	peso (g)	3/4"	#4	#10	#40	#60	#200	grava	arena	fino	
1	0,55 - 100	50,58	100	100	100	97,4	92,7	48,75	0	51	49	SC
3	2,55 - 3,00	50,56	100	100	100	99,3	98,4	58,23	0	42	58	CL
7	6,55 - 7,00	51,01	100	100	100	98,9	97,9	66,09	0	34	66	CL

Fuente: PETROJUNÍN.

De este estudio se puede mencionar que el suelo de MPJ-06, perteneciente a la unidad geomorfológica mesa ligeramente ondulada, se encuentra compuesto por arenas limosas de plasticidad reducida, arenas arcillosas y arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad; mientras que MPJ-07, que se encuentra en un afloramiento del tipo mesa fuertemente quebrada, se compone de arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, arenas arcillosas y arcillas inorgánicas de alta plasticidad.

Siguiendo las teorías expuestas por la USDA, el límite inferior del suelo se encuentra establecido alrededor de los 2,00 m de profundidad, debido a esto se tomaron en cuenta los datos de granulometría hasta esta profundidad, tanto de las perforaciones, como de las calicatas excavadas en el área de las macollas, como se muestra en las Tablas 17 y 18.

Tabla 17. Perforaciones hasta 2m de profundidad MPJ-06

Perforación: P1-MPJ-06			Designación standard de tamices						porcentaje total		
muestra	prof (m)	peso (g)	3/4"	#4	#10	#40	#60	#200	grava	arena	fino
1	0,55 - 1,00	50	100	100	100	97,3	96,5	48,94	0	51	49
Perforación: P2-MPJ-06			Designación standard de tamices						porcentaje total		
muestra	prof (m)	peso (g)	3/4"	#4	#10	#40	#60	#200	grava	arena	fino
1	0,55 - 1,00	51,64	100	100	100	75,3	10,8	33,27	0	67	33
2	1,55 - 2,00	133,63	100	96,1	95,2	74,2	69,8	35,36	4	61	35
Perforación: P3-MPJ-06			Designación standard de tamices						porcentaje total		
muestra	prof (m)	peso (g)	3/4"	#4	#10	#40	#60	#200	grava	arena	fino
1	0,55 - 1,00	52,6	100	100	100	91,8	85,9	35,99	0	64	36
2	1,55 - 2,00	50,75	100	100	100	91,2	83,8	30,6	0	69	31
Perforación: MPJ-06-CA1			Designación standard de tamices						porcentaje total		
muestra	prof (m)	peso (g)	3/4"	#4	#10	#40	#60	#200	grava	arena	fino
1	0,40 - 1,20	435,41	100	100	99,5	95	92	45,42	0	55	45
2	1,20 - 2,00	334,99	100	100	99,8	98,8	97,9	44,51	0	55	45
Perforación: MPJ-06-CA2			Designación standard de tamices						porcentaje total		
muestra	prof (m)	peso (g)	3/4"	#4	#10	#40	#60	#200	grava	arena	fino
1	0,23 - 0,87	384,74	100	96,8	95,6	94,3	93,8	43,56	3	53	44
2	0,87 - 2,00	434,38	100	99,9	99,5	98,6	97,6	45,87	0	54	46
Perforación: MPJ-06-CA3			Designación standard de tamices						porcentaje total		
muestra	prof (m)	peso (g)	3/4"	#4	#10	#40	#60	#200	grava	arena	fino
1	0,35 - 1,05	409,26	100	98,9	97,9	81,2	78,2	41,55	1	57	42
2	1,05 - 2,00	132,55	100	99,6	99,3	64,1	50,9	32,55	0	67	33
Perforación: MPJ-06-CA4			Designación standard de tamices						porcentaje total		
muestra	prof (m)	peso (g)	3/4"	#4	#10	#40	#60	#200	grava	arena	fino
1	0,38 - 1,12	599,26	100	100	99,9	99,7	99,4	58	0	42	58
2	1,12 - 2,00	146,89	100	99,5	99,4	97,2	96,6	46,9	0	53	47

Tabla 18. Perforaciones hasta 2m de profundidad MPJ-07.

Perforación: P1-MPJ-07			Designación standard de tamices						porcentaje total		
muestra	prof (m)	peso (g)	3/4"	#4	#10	#40	#60	#200	grava	arena	fino
1	0,55 - 1,00	51,03	100	100	100	96,3	88,9	37,51	0	62	38
2	1,55 - 2,00	106,73	100	99,9	97,3	90,7	86,6	55,06	0	45	55
Perforación: P2-MPJ-07			Designación standard de tamices						porcentaje total		
muestra	prof (m)	peso (g)	3/4"	#4	#10	#40	#60	#200	grava	arena	fino
1	0,55 - 100	50,58	100	100	100	97,4	92,7	48,75	0	51	49
Perforación: MPJ-07 PLATAFORMA			Designación standard de tamices						porcentaje total		
muestra	prof (m)	peso (g)	3/4"	#4	#10	#40	#60	#200	grava	arena	fino
1	0,30 - 0,93	159,91	100	100	99,9	92	78,2	38,04	0	62	38
2	0,93 - 2,00	516,78	100	100	99,8	93,6	78,9	30,96	0	69	31
Perforación: MPJ-07 PRESTAMO 1			Designación standard de tamices						porcentaje total		
muestra	prof (m)	peso (g)	3/4"	#4	#10	#40	#60	#200	grava	arena	fino
1	0,15 - 0,90	6511	84,5	64,4	57,9	47,7	38,1	26,37	36	38	26
2	0,90 - 2,00	1866,01	79,3	49,7	44,8	36,8	28,3	19,63	50	30	20
Perforación: MPJ-07 PRESTAMO 2			Designación standard de tamices						porcentaje total		
muestra	prof (m)	peso (g)	3/4"	#4	#10	#40	#60	#200	grava	arena	fino
1	0,28 - 0,58	320,31	100	98,8	94,8	73,8	59,9	41,96	1	57	42
2	0,58 - 1,25	670,42	100	99,8	96,6	76,4	42,1	15,61	0	84	16
4	1,25 - 2,00	186,12	100	100	96,7	76,1	46,7	17,33	0	83	17

Estos datos fueron promediados para obtener una idea general de la distribución del tamaño de las partículas del suelo en cada área, como se puede observar en las tablas 19 y 20, de esta forma ayudando a simplificar el cálculo más adelante del factor de erodabilidad (susceptibilidad a la erosión) del suelo de la USLE.

Tabla 19. Promedio de granulometría MPJ-06.

	grava	arena	fino
Promedio MPJ-06	0,62	57,54	41,85

Tabla 20. Promedio de granulometría MPJ-07.

	grava	arena	fino
Promedio MPJ-07	8,70	58,10	33,20

Al realizar la comparación del promedio de distribución del tamaño de las partículas del suelo en cada macolla se obtuvo la Tabla 21.

Tabla 21. Comparación de granulometría MPJ-06 y MPJ-07.

	grava	arena	fino
MPJ-07	8,70	58,10	33,20
MPJ-06	0,62	57,54	41,85

De esta comparación se pudo observar que, en promedio:

1. MPJ-07 Tiene un 8,08% más de grava que MPJ-06.
2. MPJ-07 Tiene un 0,56% más de arena que MPJ-06.
3. MPJ-06 Tiene un 8,65% más de finos que MPJ-07.

Por lo que se puede concluir que en la capa más superficial del suelo el área de MPJ-07, posee un material con mayor contenido de gravas mientras que MPJ-06, está conformada de un material más fino.

Observando que las diferencias de la distribución de las partículas del suelo de las diferentes zonas no varía en demasía, una comparación de la longitud de los taludes de las macollas puede ayudar a dar un indicio de cuál de estas es más susceptible a la acción de la erosión.

En las Figuras 19 y 20 se pueden observar los planos de planta de las macollas de producción MPJ-06 y MPJ-07.

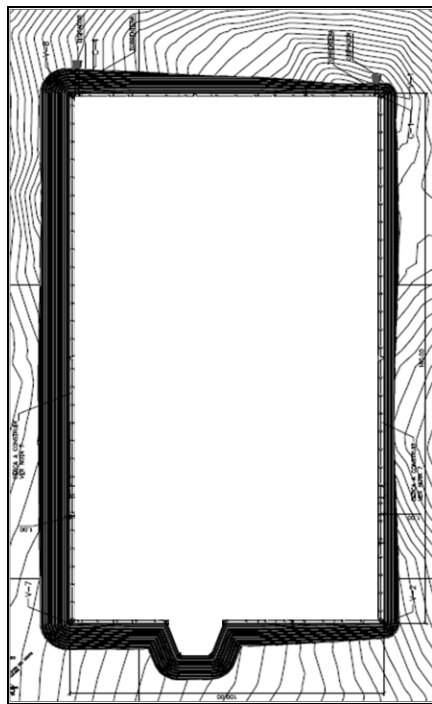


Figura 19. Vista en planta
MPJ-06.

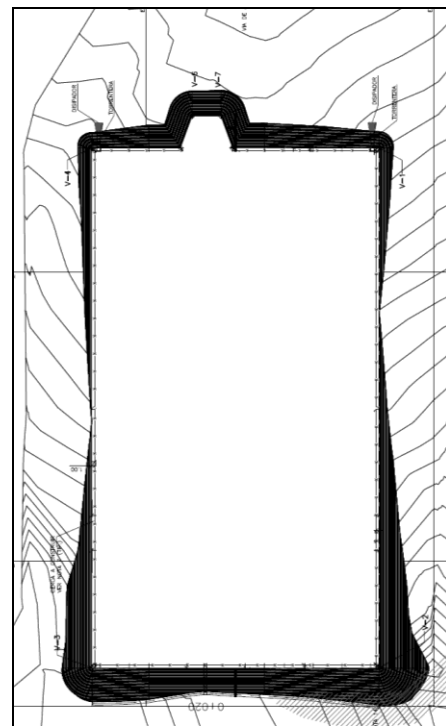


Figura 20. Vista en planta
MPJ-07.

Al realizar la medición de la longitud de los taludes de las macollas MPJ-06 y MPJ-07, se puede apreciar que, en el caso de MPJ-06, la longitud máxima que posee un talud, en el eje horizontal, es de 9,17 m en el área norte de esta, mientras que en MPJ-07, se tiene una distancia de 19,01 m como la de mayor magnitud, en la parte sureste de la macolla.

Teniendo en cuenta que el cálculo de erosión potencial en las macollas se realizará con la longitud más desfavorable en cada caso (es decir, la de mayor magnitud), y la pendiente es constante en ambas (2:1), la diferencia entre las longitudes de los taludes podría ocasionar que los valores de pérdida de suelo arrojados por la aplicación de la USLE sean mayores en MPJ-07, en caso de que los suelos estudiados no difieran considerablemente unos de otros en sus demás características.

Por último, se toman en consideración los estudios de suelos referentes al potencial de hidrógeno (pH), que pueden observarse en las Tablas 22 y 23, donde se aprecia que el suelo de la plataforma de MPJ-06, es más ácido que el de MPJ-07, el cual tiende más a la neutralidad. Cabe destacar que la acidez de estos suelos dificulta el establecimiento de la vida vegetal, así mismo, debido a las características que presenta el vetiver en lo referente a la capacidad de adaptarse a los distintos rangos de pH de los suelos, es recomendado su uso como alternativa para el control de erosión en los casos estudiados.

Tabla 22. Potencial de hidrógeno MPJ-06.

Punto	Profundidad de la muestra	Coordenada		Cota	Valor de pH
		Norte	Este		
P1	1,55 m a 2,00 m	932.964,00	321.916,00	193,84	4,05
P2	0,55 m a 1,00 m	932.864,00	321.956,00	196,83	3,67
P3	1,05 m a 1,50 m	932.756,00	321.986,00	202,42	4,34

Fuente: PETROJUNÍN.

Tabla 23. Potencial de hidrógeno MPJ-07.

Punto	Profundidad de la muestra	Coordenada		Cota	Valor de pH
		Norte	Este		
P1	1,05 m a 1,50 m	938.078,00	292.380,00	205,8	5,67
P2	2,05 m a 2,50 m	938.178,00	292.380,00	206,6	6,16
P3	0,55 m a 1,00 m	932.278,00	292.380,00	206,55	5,76
P4	1,55 m a 2,00 m	938.180,00	292.426,00	208,54	5,79

Fuente: PETROJUNÍN.

4.2 Aplicación de la USLE para la determinación de las pérdidas de suelo

Debido a lo expuesto en párrafos anteriores en cuanto a las condiciones desfavorables de los taludes, se procedió a aplicar la USLE, expresada en la ecuación 1 (ver página 68), para determinar un estimado de pérdida de suelo por erosión hídrica en las zonas estudiadas, es decir, aquellas donde se encuentran las macollas de producción MPJ-06 y MPJ-07.

4.2.1 Factor R

Usando la ecuación 2 (ver página 69) se realizó el cálculo del factor R, para lo cual fue necesario determinar la lámina promedio de precipitación mensual, lo cual fue llevado a cabo utilizando los registros de precipitación publicados por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, que se muestran en la Tabla 24.

De estos registros fueron excluidos los años en los que en algún mes no se realizó ninguna medición (1996, 1998 y 2001), debido a que estas deficiencias en la base de datos terminarían afectando el cálculo del factor de erosividad de la lluvia.

Teniendo ya los datos de cada uno de los años tomados en consideración, se procedió a calcular la lámina promedio de precipitación mensual, promediando los valores mensuales de cada año, como se muestra en la Tabla 25.

Con la lámina de promedio de precipitación mensual de cada uno de los años tomados en consideración para el presente estudio, se calculó el factor de erosividad para cada año, mostrado en la Tabla 26.

Seguido de esto se determinó el promedio del factor R en los años estudiados, dando como resultado que:

$$R = 415,358 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$$

Tabla 24. Precipitación mensual Zuata (mm) (1981-2003).

Mes	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1997	1999	2000	2002	2003
Enero	0,2	4,2	10,8	29,3	0	0,7	0	0	9,2	3,3	3,3	2,3	0	0	0	0	28,9	4,1	6,9	0
Febrero	6,6	0,8	3,5	1,8	0	37,3	0,2	15,5	5,6	4,4	0,4	0	0	0	0	32,5	10,5	8,5	0,8	0
Marzo	1,7	0	1,6	0	0	0,3	0,8	0	0,9	3,2	6,1	0	1,5	0	40	0	9,6	0	0,7	0
Abril	0	0,3	105	14,4	38,4	0	1,1	0	0	42,2	13,4	43,1	59,1	0	22,4	0,7	96	0	0	26,3
Mayo	450	237	152	0	81,2	50,4	119	59,7	24,6	119	14,5	110	200	9,4	0	43,3	0	0	0	19,6
Junio	0	147	224	75,4	165	128	452	0	60,5	102	96,1	86,7	0	108	0	75,6	0	0	235	180
Julio	0	170	173	0	0	228	222	578	223	128	112	206	0	205	317	176	0	0	127	0
Agosto	0	177	191	406	0	146	229	303	111	209	246	201	0	199	279	98	0	537	0	538
Septiembre	0	288	85,4	77,7	144	74,4	144	186	31,5	127	122	94,7	0	0	97,4	0	0	271	272	93,8
Octubre	0	42,7	160	58,7	108	170	113	138	68,3	129	129	101	0	211	164	151	0	0	5,2	15,2
Noviembre	562	14,3	16	70,7	190	34,8	44	32,8	126	49	92,9	4,7	348	62,8	110	0	0	0	0	9,5
Diciembre	23,9	12,8	11,8	38,7	23,4	14,7	4,6	25	3,1	30,2	30,5	4	20,4	10,5	10,4	0	895	142	5,2	25,2

Fuente: Ministerio del Poder Popular para el Ambiente.

Tabla 25. Lámina promedio de precipitación mensual (1981-2003).

Mes	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1997	1999	2000	2002	2003
Lámina promedio (mm)	40,2	90	93,2	58,5	46,7	70,9	107	109	44,8	74,8	64,4	70,8	23,4	61,9	77,5	48,1	86,6	80,2	54,4	74,9

Tabla 26. Factor de erosividad de lluvia anual (1981-2003).

Mes	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1997	1999	2000	2002	2003
R (MJ.m m.ha-1.h-1)	163,2 60	601, 133	629, 587	324, 593	220, 167	433, 053	752, 273	766, 280	203, 373	467, 593	376, 147	432, 100	15,4 93	354,2 93	491, 133	232, 413	571, 947	515, 627	288, 513	468, 180

4.2.2 Factor K

El cálculo del factor de erosionabilidad de suelos se realizó empleando la ecuación 3 (ver página 70), utilizando los datos necesarios de los estudios de suelo llevados a cabo en el Bloque Junín 5. En la Tabla 21, mostrada con anterioridad, se puede observar el promedio de la distribución del tamaño de las partículas de suelo en las zonas estudiadas, que fueron usadas en este cálculo. En la Tabla 27 se encuentran el porcentaje aproximado de limos y arcillas contenidos en el suelo de las plataformas de las macollas, que fueron necesarios para este cálculo.

Tabla 27. Porcentaje de limos y arcillas en el suelo.

	L + MF (%)	ARC (%)
MPJ-06	30,15	1,11
MPJ-07	24,81	0,81

Fuente: PETROJUNÍN.

Adicionalmente, el potencial de hidrógeno del suelo (pH), fue tomado en consideración para la ejecución del cálculo de este factor. Los valores de pH, fueron extraídos de los estudios ejecutados y resumidos en la Tabla 28, para dar un aproximado de potencial de hidrógeno en el suelo para el área de cada macolla de producción estudiada.

Tabla 28. Potencial de hidrógeno del suelo.

	pH
MPJ-06	4,02
MPJ-07	5,74

Fuente: PETROJUNÍN.

Cabe destacar que, como se ha observado con anterioridad, las características del suelo difieren en ambas macollas, por lo que el factor de erosionabilidad del suelo debe calcularse por separado, uno para MPJ-06 y otro para MPJ-07. Sabiendo esto, y conociendo ya todas las variables a introducir, se procede a aplicar la ecuación 3, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 29.

Tabla 29. Factor de erosionabilidad de suelos.

Macolla	Gr	Arc	L + amf	pH	K'	K
MPJ-06	0,615	1,113	30,151	4,020	0,255	0,025
MPJ-07	8,700	0,810	24,807	5,740	0,265	0,026

4.2.2 Factor L

Utilizando la ecuación 4 (ver página 71) se calculó el factor de longitud de pendiente. Debido a que la intención con la aplicación de la USLE, era conocer la erosión potencial en las zonas estudiadas, se procedió a usar la longitud de mayor magnitud en cada talud de las plataformas de las macollas, representando así el resultado más desfavorable en las mismas. Estas distancias pueden apreciarse en las Tablas 30 y 31.

Tabla 30. Longitud de pendientes MPJ-06.

Macolla	Talud	λ (m)
MPJ-06	Norte	9
MPJ-06	Sur	9,17
MPJ-06	Este	4,58
MPJ-06	Oeste	9,17

Tabla 31. Longitud de pendientes MPJ-07.

Macolla	Talud	λ (m)
MPJ-07	Norte	11,21
MPJ-07	Sur	12,81
MPJ-07	Este	19,01
MPJ-07	Oeste	11,18

Así mismo, el valor de μ , necesario para el cálculo del factor de longitud de pendiente, fue determinado por la aplicación de la ecuación 5 (ver página 71), donde, conociendo que en las obras ejecutadas por la empresa PetroJunín, los taludes de las terrazas de las macollas son conformados en una relación 2h:1v, se puede afirmar que la pendiente es del 50% ($S = 0,50$), lo que arroja un resultado del factor del gradiente de:

$$\mu = 0,60$$

Ya conociendo este valor, se procedió con la determinación del factor de longitud de ladera para las zonas estudiadas, como se muestra en las Tablas 32 y 33.

Tabla 32. Factor de longitud de pendiente MPJ-06.

Macolla	Talud	L
MPJ-06	Norte	0,583
MPJ-06	Sur	0,590
MPJ-06	Este	0,389
MPJ-06	Oeste	0,590

Tabla 33. Factor de longitud de pendiente MPJ-07.

Macolla	Talud	L
MPJ-07	Norte	0,665
MPJ-07	Sur	0,721
MPJ-07	Este	0,914
MPJ-07	Oeste	0,664

4.2.3 Factor S

Este factor se determinó aplicando la ecuación 6 (ver página 72), donde la única variable a considerar es el ángulo que posee la pendiente, la cual, al estar conformada en relación 2:1, permite fácilmente el cálculo de este ángulo mediante el uso de la trigonometría.

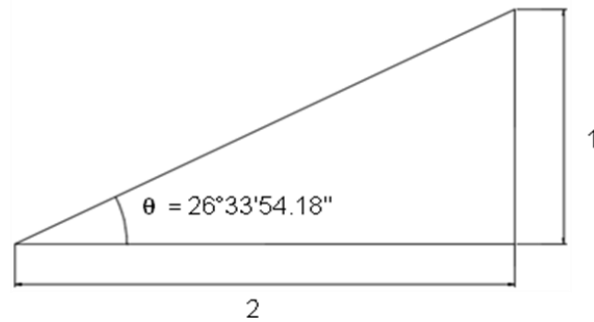


Figura 21. Ángulo de elevación de los taludes.

Al sustituir los valores, la ecuación arrojó un resultado de:

$$S = 7,013$$

4.2.4 Factores C y P

Como ya fue detallado anteriormente, los factores C y P serán asumidos iguales a 1, por lo que los valores de las pérdidas de suelo generados por la aplicación de la USLE, pueden ser considerados como un cálculo de erosión potencial, demostrando la cantidad de pérdida ocasionada en la peor de las situaciones, sin ninguna vegetación que sirva como cobertura del suelo, y sin ninguna práctica conservacionista actuando eficientemente en los taludes estudiados.

4.2.5 Cálculo de pérdida de suelos

Utilizando los factores calculados se procedió a aplicar ecuación 1 (ver página 68) para conocer la pérdida de suelo potencial en la zona estudiada, resultados que se muestran en las Tablas 34 y 35, expresados en $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$.

Tabla 34. Pérdida de suelos MPJ-06.

Macolla	Talud	R	K	L	S	C	P	A
MPJ-06	Norte	415,358	0,025	0,583	7,013	1	1	43,312
MPJ-06	Sur	415,358	0,025	0,590	7,013	1	1	43,801
MPJ-06	Este	415,358	0,025	0,389	7,013	1	1	28,879
MPJ-06	Oeste	415,358	0,025	0,590	7,013	1	1	43,801

Tabla 35. Pérdida de suelos MPJ-07.

Macolla	Talud	R	K	L	S	C	P	A
MPJ-07	Norte	415,358	0,026	0,665	7,013	1	1	51,298
MPJ-07	Sur	415,358	0,026	0,721	7,013	1	1	55,573
MPJ-07	Este	415,358	0,026	0,914	7,013	1	1	70,425
MPJ-07	Oeste	415,358	0,026	0,664	7,013	1	1	51,215

Si se realiza la comparación de estos resultados con la interpretación propuesta en la Tabla 4, se obtiene lo mostrado en las Tablas 36 y 37, donde se puede apreciar que en la macolla de producción MPJ-06, predomina un proceso erosivo moderado, mientras que en MPJ-07, el nivel del proceso erosivo es mayor, presentándose una acción de erosión grave.

Tabla 36. Interpretación de pérdida de suelos MPJ-06.

Macolla	Talud	A	Interpretación
MPJ-06	Norte	43,312	Zona con procesos erosivos moderados
MPJ-06	Sur	43,801	Zona con procesos erosivos moderados
MPJ-06	Este	28,879	Zona con procesos erosivos moderados
MPJ-06	Oeste	43,801	Zona con procesos erosivos moderados

Tabla 37. Interpretación de pérdida de suelos MPJ-07.

Macolla	Talud	A	Interpretación
MPJ-07	Norte	51,298	Zona con procesos erosivos graves
MPJ-07	Sur	55,573	Zona con procesos erosivos graves
MPJ-07	Este	70,425	Zona con procesos erosivos graves
MPJ-07	Oeste	51,215	Zona con procesos erosivos graves

4.3 Desarrollo de propuesta para control de erosión

Conociendo el estado actuante del proceso erosivo en el bloque Junín 5, observado en la tabla antes mostrada, se procedió a realizar el desarrollo de las propuestas de control, enfocando estas a ser aplicadas según el tipo de erosión presentada en cada zona, permitiendo de esta forma implantar soluciones efectivas para los requerimientos específicos según sea el caso.

Para el desarrollo de la propuesta se tomó en consideración la aplicación de las siguientes técnicas de bioingeniería: fajinas, geosintéticos y vetiver; las cuales fueron comparadas entre sí, como se observa en la Tabla 38.

Tabla 38. Comparación entre técnicas de bioingeniería.

Técnicas	Propósito	Vida útil	Recomendado en pendientes	Sostenibilidad	Mantenimiento
Fajinas	Disminuir la velocidad del flujo.	1 a 7 años, dependiendo del material	3:1	No	Constante
Geosintéticos	Reducir velocidad y volumen de escorrentía superficial. Absorber la energía cinética de las gotas de agua. Proporcionar protección frente a la erosión previa al establecimiento de la vegetación.	Más de 5 años	Menores a 1:1	No	Bajo
Vetiver	Disminuir la velocidad del flujo. Retener sedimentos. Reforzar el suelo.	Más de 100 años	Hasta 60% (1,67:1)	Si	Nulo o casi nulo

Analizando la información expuesta anteriormente se puede observar que el sistema de vetiver posee una prolongada vida útil, sostenibilidad y necesidad de poco o nulo mantenimiento en comparación con las otras técnicas consideradas, lo cual ubica el uso de este sistema como el más adecuado para la protección de taludes. Debido a esto es recomendable tomar en consideración su uso siempre que sea posible, y de ser necesario, complementarlo con diferentes controladores y correctores hidráulicos, para lograr un mejor manejo de la escorrentía y así garantizar que las acciones implementadas sean las más idóneas para la solución de la problemática presentada.

Observando la situación presente en campo, se determinó que con anterioridad se intentó la revegetación de los taludes con el fin de controlar la erosión hídrica, mediante la siembra de gramíneas y el empleo de mantos para promover su crecimiento.

Al realizar la pertinente indagación sobre los motivos de la falla del intento de revegetación, se descubrió que los trabajos no se realizaron de manera correcta:

- Siembra de las semillas: Éstas no fueron sembradas a las distancias recomendadas, lo que generó que las raíces de la planta no se unieran en el tiempo estimado, por lo que no se formó la macolla, la cual es fundamental para garantizar la estabilidad del terreno.
- Colocación del manto: Al momento de instalar el manto en el talud, éste no fue anclado como se denota en las especificaciones técnicas del material (la correcta separación

de los ganchos de anclaje se expresa en la Figura 33), lo que generó que el agua aplicada (Riego) deslizará el manto, dejando varias áreas del talud desprotegido, creándose erosiones considerables.

- El riego: En este caso el riego no fue aplicado según las indicaciones técnicas denotadas en el alcance del trabajo: El cual consiste en realizar en regado durante tres meses según su comportamiento, o hasta que la semilla aflore y rompa el manto.

Luego de realizar una visita a campo para conocer la situación actual de la problemática de erosión en los taludes de las macollas de producción estudiadas se observó que en las áreas ubicadas al Este, Oeste y Sur de la macolla MPJ-06, se presenta una erosión de tipo laminar, ocasionado por la escorrentía, como se muestra en las Figuras 22, 23 y 24. Mientras que en el lado Norte se puede apreciar la manifestación de surcos de erosión por la concentración del flujo de las escorrentías, como observa en la Figura 25.



Figura 22. Talud de la zona Este de MPJ-06



Figura 23. Talud de la zona Oeste de MPJ-06



Figura 24. Talud de la zona Suroeste de MPJ-06



Figura 25. Talud de la zona Noroeste de MPJ-06

Así mismo, se puede observar en las Figuras 26, 27, 28, 29 y 30, que en todos los taludes de la macolla de producción MPJ-07 el proceso erosivo ha generado surcos de erosión, que han dando pie a la formación de cárcavas, específicamente en las zonas próximas a la base del talud.



Figura 26. Talud de la zona Este de MPJ-07.



Figura 27. Talud de la zona Sur de MPJ-07.



Figura 28. Talud de la zona Noroeste de MPJ-07.



Figura 29. Talud de la zona Noreste de MPJ-07.



Figura 30. Talud de la zona Oeste de MPJ-07.

Al relacionar lo observado con los datos obtenidos de la aplicación de la USLE, se confirma que en las zonas donde se ha estimado un proceso erosivo moderado se presenta desde una erosión laminar, hasta llegar a la

aparición de surcos; mientras que en las zonas donde fue estimado un proceso erosivo grave se aprecia claramente el inicio de formación de cárcavas.

Con el fin de solucionar esta problemática, las propuestas para la mitigación de la erosión hídrica, pueden elaborarse para ser aplicadas en los casos que cumplan con características similares de estimación de pérdida de suelos. Por lo tanto, en líneas generales y enfocándose en los distintos casos típicos de erosión presentes y demostrados con anterioridad, se recomienda para cada caso:

4.3.1 Proceso erosivo moderado, erosión laminar o erosión en surcos

En este caso se recomienda la siembra de barreras de vetiver en el talud, siguiendo las especificaciones que se darán a continuación:

Preparar el terreno adecuadamente mediante escarificación y compactación, hasta conseguir que la superficie de la pendiente sea uniforme. Para la plantación, los esquejes de vetiver deben sembrarse a través de la pendiente en curvas de nivel aproximadas con un intervalo vertical de 1 m. Luego de marcadas las curvas de nivel, abrir un surco de 10 cm de ancho por 10 cm de profundidad a lo largo de las curvas de nivel trazadas y colocar los esquejes a lo largo del surco, sembrando tres (3) esquejes por punto de siembra para así asegurar la sobrevivencia de estos, en un aproximado de siete (7) puntos de siembra por metro lineal, que sería igual a sembrar los grupos de esquejes a una separación de aproximadamente 15 cm, tomando la precaución de que las raíces no se doblen hacia arriba.

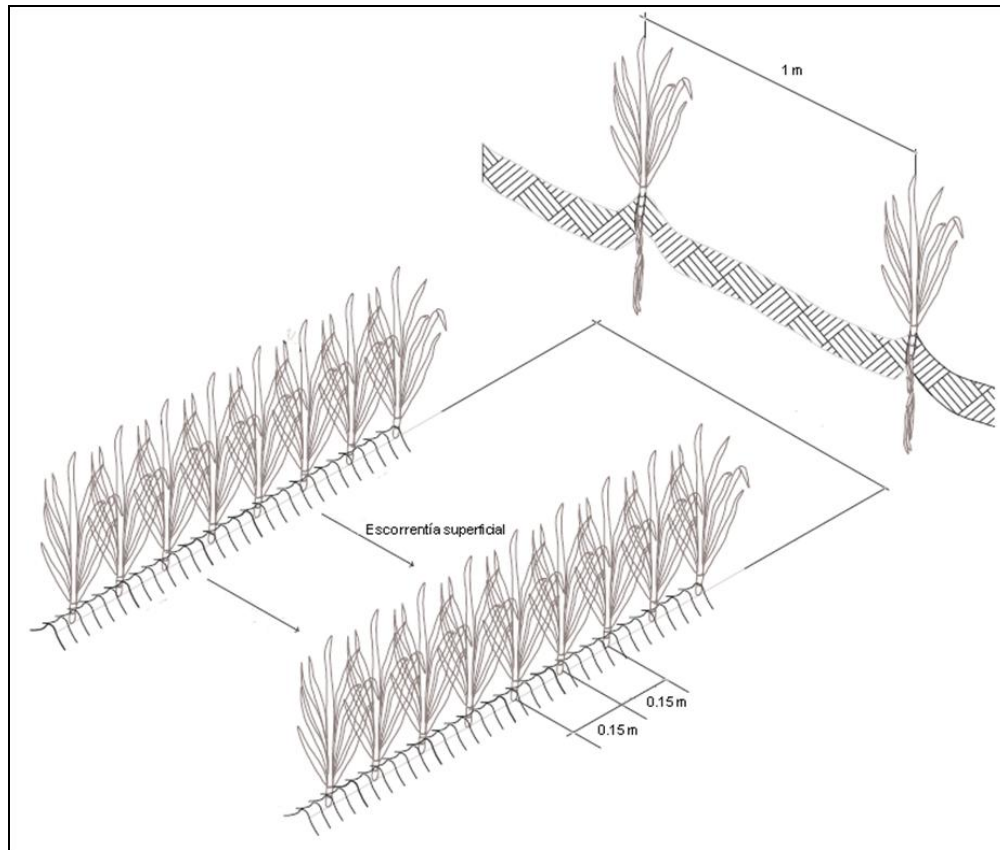


Figura 31. Detalle de siembra de esquejes.

Seguido de esto, rellenar el surco con tierra, apisonándolo suavemente por ambos lados, asegurando así que la planta quedará firme. Si los esquejes son plantados a una distancia demasiado grande entre sí, el vetiver tardará demasiado tiempo en formar la barrera que se espera sea formada por este, en la Figura 31 se muestra en detalle cómo realizar la siembra de esquejes.

Si la plantación de los esquejes es realizada en verano, estos deben regarse durante 3 meses, las primeras dos semanas de manera diaria y luego cada dos días. En caso que algunas plantas mueran (realizar chequeo

al cumplirse un mes de la plantación), éstas se deben replantar a la brevedad posible.

De igual manera, puede ser recomendable la utilización de mantos para el control de erosión, con el fin de asegurar que el vetiver se establezca correctamente. En caso de que el proceso erosivo actuante produzca la aparición surcos de erosión, la combinación con mantos para asegurar el establecimiento del vetiver es obligatorio, debido a que el vetiver suele ser vulnerable al fracaso durante los primeros meses debido a acción de la escorrentía o inestabilidad del talud, y es de suma importancia detener la evolución del proceso erosivo con el fin de evitar la formación de cárcavas.

Para la instalación de estos se debe preparar el terreno adecuadamente mediante escarificación y compactación, hasta conseguir que la superficie de la pendiente sea uniforme, luego excavar una zanja de 30 x 30 cm en la corona del talud, que servirá para anclar el manto. El manto se debe colocar dentro de la zanja y anclarse con grapas o ganchos, luego colocar suelo de relleno y compactar. En la Figura 32, se puede observar el detalle de las zanjias, y cómo estas deben ser ancladas al manto.

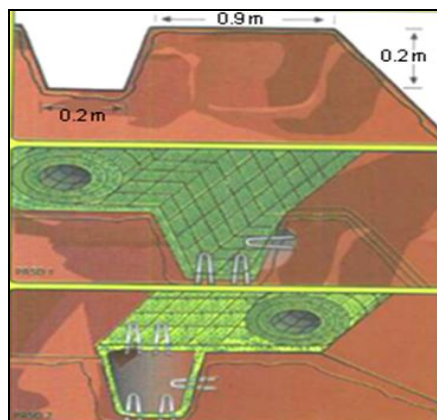


Figura 32. Anclaje de los mantos (PAVCO).

La disposición de las grapas para la fijación del manto dependerá de la pendiente del talud, que en este caso es 2:1 (ver figura 33).

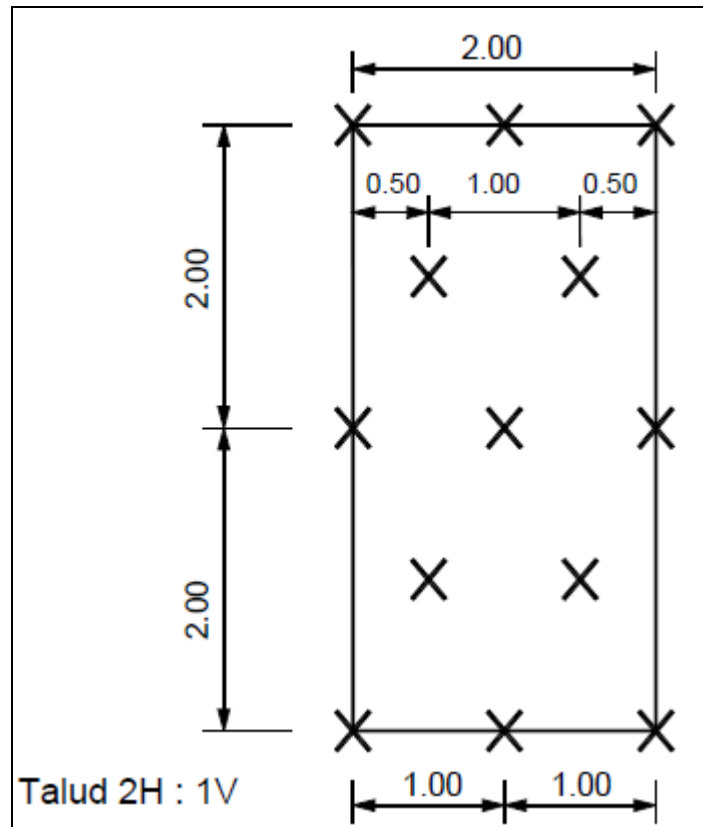


Figura 33. Separación de ganchos de anclaje en la instalación de mantos para control de erosión en taludes (Suárez, 2001).

Seguido de esto se procede a desenrollar el manto sobre el talud hacia abajo, anclándolo de manera uniforme, para que permanezca firme a la superficie del suelo. Los solapes deben ser como mínimo 10 cm, tanto lateralmente como al principio y final del manto, en este caso se debe montar el manto remontante sobre el descendiente y anclarlos mediante una hilera de grapas distanciadas por no más de 1 m. Los extremos de los mantos se deben anclar a una distancia máxima de 2 m y mínima de 1 m. Las

especificaciones descritas se pueden observar en la Figura 34, que describe las características de un correcto trabajo de instalación de mantos para el control de la erosión, siguiendo las especificaciones descritas con anterioridad.

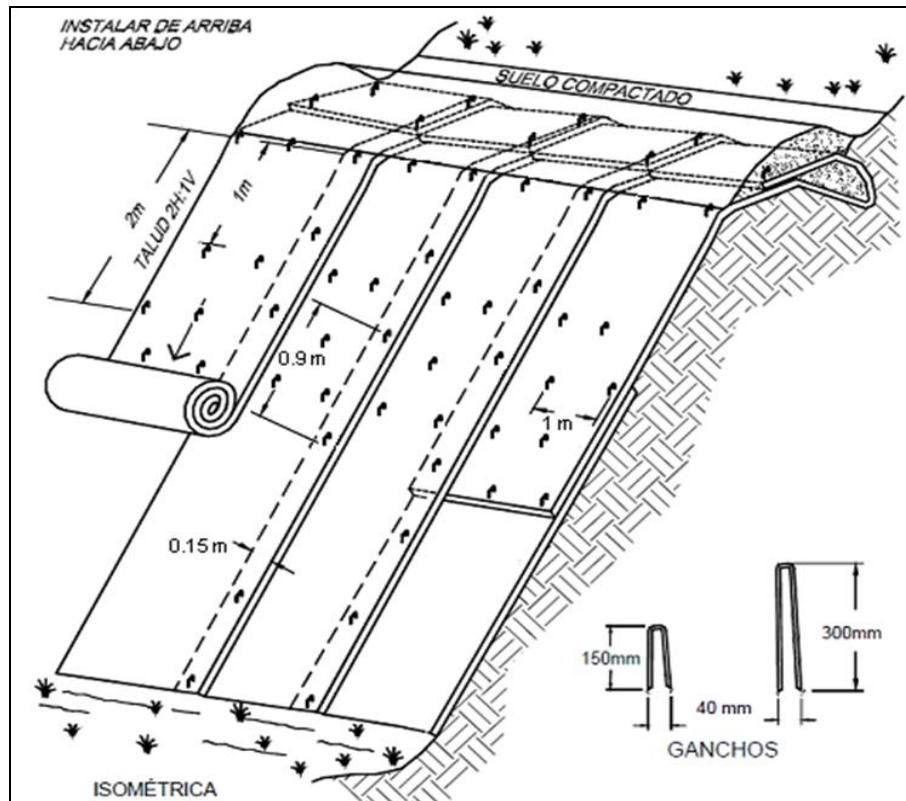


Figura 34. Instalación de mantos de protección contra la erosión (Suárez, 2001).

4.3.2 Proceso erosivo grave, erosión en cárcavas

En las zonas donde el avance del proceso erosivo es mayor, y ya se puede apreciar la formación de cárcavas, es imperativo controlar el crecimiento de las mismas para evitar el colapso del talud y los daños que esto causaría a la construcción asociada, así como hacer los correctivos

pertinentes a las áreas afectadas. En la propuesta de control de erosión elaborada por Ruiz y Holmquist (2010), se propone la revegetalización de los taludes y la construcción de un canal en el fondo de una cárcava para conducir el caudal que fluye por esta y evitar que se agrave la problemática planteada en su caso de estudio, comentando luego que el método más efectivo para el control de erosión en cárcavas es el uso de vegetación y estructuras que favorezcan su crecimiento, además de buscar disminuir el volumen y velocidad de la escorrentía que fluye por las cárcavas.

Siguiendo lo anteriormente expuesto, se recomienda la construcción de canales interceptores en la parte superior del talud, en los taludes Sur, Este y Oeste de la macolla de producción MPJ-07, que se encargarán de disminuir la escorrentía que fluirá por este, debido a que las pendientes tratadas son taludes de corte, sin ningún tipo de sistema de recolección que se encargue de disminuir la escorrentía que fluye por la pendiente, proveniente del terreno aguas arriba de esta, además de la construcción de cunetas en la parte inferior de estos para la recolección de las aguas que fluyan por el talud. Tanto los canales como las cunetas deben de contar con su respectivo disipador de enrocado en las salidas para evitar la erosión del suelo en estos puntos. Luego preparar el terreno adecuadamente mediante suministro, transporte y colocación de material granular óptimo, que debe ser colocado en las cárcavas, regado y compactado, prosiguiendo con la escarificación y compactación del talud, hasta conseguir que la superficie de la pendiente sea uniforme, para acto seguido realizar la siembra de esquejes de vetiver en todos los taludes de la macolla, siguiendo las instrucciones dadas en casos anteriores, es necesario el uso de mantos para el control de erosión en estos casos debido a que el proceso erosivo actúa con mayor fuerza, por lo que únicamente la siembra de vetiver podría llegar a ser insuficiente para mitigar el proceso erosivo.

4.3.2.1 Cálculo de caudales para canales

El método empleado para la determinación del caudal de las aguas de lluvia precipitadas sobre las áreas, es el Método Racional, mediante la ecuación 7 (ver página 84), dando como resultado lo observado en la Tabla 39. En la que se introducen los siguientes parámetros conocidos: las áreas contribuyentes que los canales están diseñados a servir, además de los coeficientes de escorrentía de dicha área, los cuales fueron extraídos de la Tabla 5; la longitud del cauce, pendiente estimada del terreno y el tiempo de concentración, obteniendo con ellos los valores de la intensidad y el caudal de diseño para los canales.

4.3.2.2 Cálculo hidráulico de canales

Para el cálculo hidráulico de los canales interceptores, aguas arriba del talud tratado en la macolla, se empleó la ecuación de Manning para flujo uniforme y régimen permanente (ecuación 8, ver página 87), los resultados obtenidos pueden apreciarse en la Tabla 40. Los caudales usados para estos cálculos fueron los obtenidos de la Tabla 39, los cuales permitieron la determinación de las dimensiones del canal, en los que se tomó una pendiente de diseño de 3% y un coeficiente de rugosidad de 0,015, correspondiendo este valor a lo de superficie de concreto de la Tabla 6. Por último se comprobó que la velocidad cumpliera con los criterios tomados para evitar la sedimentación o erosión en los canales y se determinaron las cotas de los canales en cada uno de sus vértices.

Tabla 39. Cálculo de los caudales de aguas de lluvia para los canales de MPJ-07.

Tramo	Áreas (Has)				Total	Coeficiente de escorrentía C			Parámetros		Tiempo de concentración (min)			I (lps/Ha)	Caudal (lps)	Caudal (m3/s)
	Propia		Arriba			Impermeable	Permeable	Ponderado	L (m)	S	Tv	Tc (tramo)	Tc			
	Impermeable	Permeable	Impermeable	Permeable												
Sur		0,352			0,352		0,2	0,2	75	0,004	4,512	4,512	5	602,165	42,420	0,042
Oeste		0,639		0,352	0,991		0,2	0,2	80	0,004	4,742	4,742	5	602,165	119,377	0,119
Este		0,480		0,352	0,832		0,2	0,2	120	0,004	6,479	6,479	6,479	579,895	96,476	0,096

Tabla 40. Cálculo hidráulico de los canales.

Tramo	Qr (m3/s)	Base (m)	Prof (m)	Long. (m)	S	n	Área (m2)	Perímetro (m)	Radio H.	Cap (m3/s)	Cap (l/s)	Velc (m/s)	Verif.	Cota terreno(m)		Cota rasante (m)		Profundidades canal (m)
														Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	
Sur	0,04242	0,6	0,7	136	0,003	0,015	0,42	2	0,21	0,54183	541,832	1,29008	OK	133	131	132,3	131,892	0,7
																		1,108
Oeste	0,11938	0,6	0,7	80	0,003	0,015	0,42	2	0,21	0,54183	541,832	1,29008	OK	131	129	130,3	130,06	0,7
																		0,94
Este	0,09648	0,6	0,7	120	0,003	0,015	0,42	2	0,21	0,54183	541,832	1,29008	OK	133	131	132,4	132,04	0,7
																		1,06

4.3.2.3 Cálculo hidráulico de torrenteras

El análisis hidráulico de las torrenteras fue realizado con el fin de encontrar los valores reflejados en la Tabla 10, consiguiendo de esta manera la longitud mínima de la huella para cada escalón, usando para ello las ecuaciones 9, 10, 11 (ver páginas 90 y 91), en conjunto con las Figuras 15 y 16. Luego de conseguir la longitud mínima de la huella para cada escalón se procedió a ajustar esta longitud a el sitio donde se planteo la construcción de las torrenteras, tomando en consideración la longitud del desnivel a cubrir (25m en el Oeste y 30m en el Este) y el número de escalones (10 para cada caso), dando como resultado lo mostrado en la Tabla 41..

4.3.2.4 Cálculo de caudales para cunetas

El método empleado para la determinación del caudal de las aguas de lluvia precipitadas sobre las áreas, es el Método Racional, mediante la ecuación 7 (ver página 84), dando como resultado la Tabla 42. En la que se introducen los siguientes parámetros conocidos: las áreas contribuyentes que las cunetas están diseñadas a servir, además de los coeficientes de escorrentía de dicha área, los cuales fueron extraídos de la Tabla 5; la longitud del cauce, pendiente estimada del terreno y el tiempo de concentración, obteniendo con ellos los valores de la intensidad y el caudal de diseño para las cunetas.

4.3.2.5 Cálculo hidráulico de cunetas

Para el cálculo hidráulico de las cunetas, al pie del talud tratado en la macolla, se empleó la ecuación de Manning para flujo uniforme y régimen permanente (ecuación 8, ver página 87), los resultados obtenidos se encuentran reflejados en la Tabla 43. Los caudales usados para estos

cálculos fueron los obtenidos de la Tabla 42, los cuales permitieron la determinación de las dimensiones de las cunetas, en los que se tomó una pendiente de diseño de 3% y un coeficiente de rugosidad de 0,015, correspondiendo este valor a lo de superficie de concreto de la Tabla 6. Por último se comprobó que la velocidad cumpliera con los criterios tomados para evitar la sedimentación o erosión en las cunetas y se determinaron las cotas de estas en cada uno de sus vértices.

Tabla 41. Cálculo hidráulico de torrenteras.

Torrentera	Caudal (lps)	Ancho canal de aproximación	q (m ³ /s)	Yc (m)	Escalón (N°)	a (m)	K	Y0	X0	Y1/Y0	Y1	d/Y0	dmin C	dmin A
Oeste	0,119	0,6	0,119	0,159	1	0,5	3,1	0,159	1,000	0,44	0,070	4,40	0,701	2,50
Oeste	0,119	0,6	0,119	0,159	2	0,5	3,1	0,070	0,440	0,84	0,059	6,70	0,469	2,50
Oeste	0,119	0,6	0,119	0,159	3	0,5	3,1	0,059	0,370	0,96	0,056	7,20	0,424	2,50
Oeste	0,119	0,6	0,119	0,159	4	0,5	3,1	0,056	0,355	1,00	0,056	7,30	0,412	2,50
Oeste	0,119	0,6	0,119	0,159	5	0,5	3,1	0,056	0,355	1,00	0,056	7,30	0,412	2,50
Oeste	0,119	0,6	0,119	0,159	6	0,5	3,1	0,056	0,355	1,00	0,056	7,30	0,412	2,50
Oeste	0,119	0,6	0,119	0,159	7	0,5	3,1	0,056	0,355	1,00	0,056	7,30	0,412	2,50
Oeste	0,119	0,6	0,119	0,159	8	0,5	3,1	0,056	0,355	1,00	0,056	7,30	0,412	2,50
Oeste	0,119	0,6	0,119	0,159	9	0,5	3,1	0,056	0,355	1,00	0,056	7,30	0,412	2,50
Oeste	0,119	0,6	0,119	0,159	10	0,5	3,1	0,056	0,355	1,00	0,056	7,30	0,412	2,50
Este	0,096	0,6	0,096	0,138	1	0,5	3,6	0,138	1,000	0,42	0,058	4,50	0,622	3,00
Este	0,096	0,6	0,096	0,138	2	0,5	3,6	0,058	0,420	0,84	0,049	7,20	0,418	3,00
Este	0,096	0,6	0,096	0,138	3	0,5	3,6	0,049	0,353	0,96	0,047	7,90	0,385	3,00
Este	0,096	0,6	0,096	0,138	4	0,5	3,6	0,047	0,339	1,00	0,047	8,00	0,374	3,00
Este	0,096	0,6	0,096	0,138	5	0,5	3,6	0,047	0,339	1,00	0,047	8,00	0,374	3,00
Este	0,096	0,6	0,096	0,138	6	0,5	3,6	0,047	0,339	1,00	0,047	8,00	0,374	3,00
Este	0,096	0,6	0,096	0,138	7	0,5	3,6	0,047	0,339	1,00	0,047	8,00	0,374	3,00
Este	0,096	0,6	0,096	0,138	8	0,5	3,6	0,047	0,339	1,00	0,047	8,00	0,374	3,00
Este	0,096	0,6	0,096	0,138	9	0,5	3,6	0,047	0,339	1,00	0,047	8,00	0,374	3,00
Este	0,096	0,6	0,096	0,138	10	0,5	3,6	0,047	0,339	1,00	0,047	8,00	0,374	3,00

Tabla 42. Cálculo de los caudales de aguas de lluvia para las cunetas.

Tramo	Áreas (Has)				Total	Coeficiente de escorrentía C			Parámetros		Tiempo de concentración (min)			I (lps/Ha)	Caudal (lps)	Caudal (m3/s)
	Propia		Arriba			Impermeable	Permeable	Ponderado	L (m)	S	Tv	Tc (tramo)	Tc			
	Impermeable	Permeable	Impermeable	Permeable												
Sur		0,047			0,047		0,2	0,2	50	0,004	3,302	3,302	5	602,165	5,669	0,006
Oeste		0,110		0,047	0,157		0,5	0,5	80	0,004	4,742	4,742	5	602,165	47,300	0,047
Este		0,124		0,047	0,171		0,5	0,5	120	0,004	6,479	6,479	6,479	579,895	49,630	0,050

Tabla 43. Cálculo hidráulico de las cunetas.

Tramo	Qr (m3/s)	Base (m)	Prof (m)	Long. (m)	S	n	Área (m2)	Perímetro (m)	Radio H.	Cap (m3/s)	Cap (l/s)	Velc (m/s)	Verif.	Cota terreno(m)		Cota rasante (m)		Profundidades canal (m)
														Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	
Sur	0,006	0,8	0,4	100	0,003	0,015	0,16	1,131	0,141	0,159	158,586	0,991	OK	125,00	125,00	124,45	124,45	0,55
																		0,55
Oeste	0,047	0,8	0,4	84	0,003	0,015	0,16	1,131	0,141	0,159	158,586	0,991	OK	125,00	125,00	124,60	124,35	0,40
																		0,65
Este	0,050	0,8	0,4	122	0,003	0,015	0,16	1,131	0,141	0,159	158,586	0,991	OK	125,00	125,00	124,60	124,23	0,40
																		0,77

4.3.2.5 Disipadores

La selección de las dimensiones de los disipadores de enrocado fueron estimadas en función a la velocidad del caudal en la salida del canal, siguiendo los parámetros de la Tabla 11, para los cuales la energía del fluido se disipa de forma satisfactoria.

El cálculo del tirante en la salida de los canales, se llevó a cabo utilizando la ecuación 12 (ver página 94), para luego determinar la velocidad de salida del canal usando la ecuación 13 (ver página 95), dando como resultado lo observado en la Tabla 44.

Tabla 44. Velocidad de salida y disipadores en canales.

Tramo	Q (m ³ /s)	b (m)	Y1 (m)	Y2 (m)	A (m ²)	V2 (m/s)	Disipador
Oeste	0,119	0,60	0,056	0,200	0,120	0,993	Tipo 1
Este	0,096	0,60	0,047	0,179	0,108	0,896	Tipo 1

Para la cunetas, debido a que en estas no está proyectada la inclusión de alguna estructura que genere una variación en la velocidad esperada, se utilizó el tirante generado por el caudal de diseño para la determinación del área, para luego determinar la velocidad de salida usando la ecuación 13, dando como resultado lo observado en la Tabla 45.

Tabla 45. Velocidad de salida y disipadores en cunetas.

Tramo	Q (m ³ /s)	Y (m)	A (m ²)	V (m/s)	Disipador
Oeste	0,047	0,254	0,065	0,732	Tipo 1
Este	0,050	0,259	0,067	0,741	Tipo 1

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Una vez aplicados los instrumentos de recolección de datos, procesados los mismos y obtenida la información, se obtuvieron los resultados que se presentan a continuación.

- El análisis de las características del suelo del Bloque Junín 5, permitió comprobar que las zonas estudiadas presentan un considerable potencial erosivo, debido a que se encuentra compuesto en su mayoría por arenas arcillosas y arcillas inorgánicas de baja hasta alta plasticidad; además de las prolongadas distancias de las pendientes que permiten que las escorrentías superficiales puedan erosionar severamente los taludes.
- La aplicación de la USLE, permitió obtener un estimado de la pérdida de suelos causada por la erosión hídrica actuante en las zonas estudiadas, lo que hizo posible indicar el nivel de riesgo de erosión en cada una de las pendientes analizadas, dando como resultado un proceso erosivo moderado en MPJ-06 y grave en MPJ-07.
- La comparación entre las características de distintas técnicas de bioingeniería determinó cuál de éstas era más recomendable para aplicarse en el caso de estudio, debido a su superioridad en cuanto a vida útil, sostenibilidad y mantenimiento, la cual resultó ser la implementación de barreras de vetiver.

- Una vez conocido el nivel de riesgo de erosión hídrica en las zonas estudiadas y establecida cuál era la técnica más apropiada para solventar la problemática presente, se elaboraron las propuestas basadas en técnicas de bioingeniería para la mitigación del proceso erosivo, consistiendo éstas en la siembra de barreras vivas de vetiver y la instalación de mantos para facilitar su crecimiento; incluyendo la implementación de canales interceptores y cunetas en los taludes de corte, la memoria descriptiva y los planos de estas propuestas se encuentran en los anexos B, C y D.

5.2 Recomendaciones

Una vez culminada la investigación y analizado los resultados, se presentan las siguientes recomendaciones.

- Debido a las características del suelo de la zona y su susceptibilidad a ser afectado gravemente por el proceso erosivo, se debe tomar en cuenta que el uso de técnicas de bioingeniería, para controlar la actuación de la erosión y frenar las repercusiones que pueda tener en las obras implementadas por la empresa, es recomendable tanto para las vías de acceso, así como para las plataformas de las demás macollas de producción.
- De llevarse a cabo la propuesta planteada, debe realizarse un seguimiento continuo de la misma por parte del personal de la empresa, a fin de precisar cualquier falla, mantener la estructura estable y asegurar su correcto funcionamiento en la disminución de la actuación del proceso erosivo; ya que la erosión, como proceso natural de la Tierra, no puede ser detenida totalmente.

- Al implementar el sistema de vetiver para el control de erosión en taludes, es recomendable implementar canales interceptores en las crestas de los taludes de corte; si las pendientes son de grandes longitudes, estudiar la posibilidad de usar mantos, fajinas o zanjas, de desviación en un punto medio del talud para así disminuir el volumen de escorrentía que fluye por éste, con el fin de asegurar el establecimiento de la gramínea.
- El material de las superficies de los taludes estudiados no es propicio para el establecimiento de la vegetación, debido a que es material proveniente de los préstamos, el cual tiene un alto contenido en materia orgánica, debido a la acidez del suelo y no permite las reacciones químicas que llevan a la formación de humus, que facilita el desarrollo de la vida vegetal. Por lo tanto, se recomienda la inclusión de una partida de riego/esparcimiento del material proveniente de la remoción de capa vegetal, en los proyectos de construcción de futuras macollas por parte de la empresa, recomendando que esta capa sea de aproximadamente 40 centímetros, y compactada luego de colocada.
- Realizar estudios para la verificación del efecto de la aplicación de las técnicas de bioingeniería en la mitigación del proceso erosivo en taludes, con el fin de poseer registros documentados del beneficio que aportan éstas en el control de erosión y poder ser tomados como referencia en el desarrollo de futuras propuestas.
- Idear planes a largo plazo para la recuperación de vida vegetal en las áreas afectadas por la construcción de macollas de producción, luego

del abandono de las mismas, buscando disminuir el impacto generado por la industria petrolera en el medio.

BIBLIOGRAFÍA

Arias, F. (2006). *Introducción a la Metodología Científica*. Editorial Episteme. Caracas, Venezuela.

Bolinaga, J. (1979). *Drenaje Urbano*. Editorial Génesis. Caracas, Venezuela.

Cabezas, V. (2013). *Sistemas flexibles de estabilización superficial de taludes con mallas de acero y pernos de anclaje*. Trabajo de Grado. Universidad Católica de la Santísima Concepción. Concepción, Chile.

Corbetta, P. (2007). *Metodología y Técnicas de Investigación Social*. Mc. Graw Hill. España.

Cova, A. (2013). *Propuesta de clasificación edafoclimática con fines de establecer plantaciones forestales con la especie pino caribe (Pinus caribae Var. Hondurensis) en MAT-PROFORCA al sur de los Estados Monagas y Anzoátegui*. Trabajo de Grado. Universidad de Oriente. Maturín, Venezuela.

Duque-Escobar, G. y Escobar, C. (2002). *Mecánica de Suelos*. Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia.

Edeso, J.; Marauri, P.; Merino, A.; González, M. (1997). *Determinación de la tasa de erosión hídrica en función del manejo forestal: la cuenca del río Santa Lucía (Gipuzkoa)*. Instituto Geográfico Vasco. España.

Escobar, Ó. (2012). *Ecuaciones para evaluar, estimar y predecir la erosión hídrica*. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. El Tigre, Venezuela.

Fernández, F. y Julca, J. *Secciones de máxima eficiencia hidráulica*. Consultado el 21 de Diciembre de 2016 en:

<https://es.scribd.com/doc/138273325/Secciones-de-Maxima-Eficiencia-Hidraulica>

Fernández, N. y Di Domenico, P. (2010). *Propuesta para mejorar el sistema de abastecimiento de agua de la población de Santa Clara, Municipio José Gregorio Monagas, Estado Anzoátegui*. Trabajo de Grado. Universidad de Oriente. Puerto La Cruz, Venezuela.

- García, D. (2005). *Alternativas de protección ante derrumbes en el canal conducción de la Central Hidroeléctrica Quiroz*. Trabajo de Grado. Universidad de Piura. Piura, Perú.
- García, P; Clemente, M; Díaz, J; Centeno, Á; Isaac, E. (2015). *Vetiver. Barrera viva contra la erosión del suelo*. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Maracay, Venezuela.
- Giráldez, J. (2014). *Manual de técnicas de estabilización biotécnica en taludes de infraestructuras de obra civil*. Universidad de Córdoba. Córdoba, España.
- González, M. (1991). *La ecuación universal de pérdidas de suelo. Pasado, presente y futuro*. Ecología No. 5, ICONA. Madrid, España.
- González de Juana, C. (1980). *Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas*. Ediciones Foninves. Caracas, Venezuela.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. McGraw-Hill. México.
- Hurtado, J. (2000). *Metodología de la Investigación holística*. Fundación SYPAL. Caracas, Venezuela.
- Instituto de Enseñanza Noreña. (2009). *Factores que influyen en los procesos erosivos*. Consultado el 27 de Julio de 2016 en:

[\[http://iesnorena.iespana.es/bioygeo/apuntes/ctma2bach/06.pdf\]](http://iesnorena.iespana.es/bioygeo/apuntes/ctma2bach/06.pdf).
- Instituto Nacional de Estadística. (2011). *Informe geoambiental 2011 Estado Anzoátegui*. Venezuela.
- López, E. (1999). *Aplicación de las metodologías USLE e IRE a través de un SIG para estimar la erosión hídrica en la cuenca del río Anaime, Departamento del Tolima, Colombia*. Trabajo de Grado. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
- Mc Cool, A., Brown, L., Foster, G., Mutchler, C., y Meyer, L. (1987). *Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation*. Trans. ASAE. Vol. 30 (5): 1387-1396.
- Ministerio de Obras Públicas. (1975). *Manual de drenaje*. Venezuela.

- Muelas Rodríguez, A. (2010). *Mecánica de Suelo y Cimentaciones*. [Libro en línea]. Consultado el 5 de Noviembre de 2015 en: [[http://www.uned.es/dpto-icf/mecanica del suelo y cimentaciones/Bibliografia%20Basica.htm](http://www.uned.es/dpto-icf/mecanica_del_suelo_y_cimentaciones/Bibliografia%20Basica.htm)].
- Páez, M., O. Rodríguez, O. y Lizaso, J. (1989). *Potencial erosivo de la precipitación en tierras agrícolas de Venezuela*. Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. 37: 45-58.
- Páez, M. y Pla, I. (1989). *Erodabilidad relativa e índices de erodabilidad en suelos agrícolas de Venezuela*. Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. 37: 59-72.
- Rojas, H. (2010). *Manual del curso de irrigación y drenaje*. Universidad Nacional del Santa, Facultad de Ingeniería. Perú.
- Rojas, R. (2009). *Hidrología aplicada al manejo de cuencas*. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Venezuela.
- Ruiz, K. y Holmquist, H. (2010). *Propuesta de sistema de control de erosión en la descarga de alcantarilla ubicada en el sector Mi Campito de la urbanización El Perú, Ciudad Bolívar, Municipio Heres, Estado Bolívar*. Trabajo de Grado. Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar, Venezuela.
- Sangalli, P. y Valenzuela, M. (2008). *Bioingeniería o Ingeniería Biológica. Introducción a la Bioingeniería o Ingeniería Biológica*. Asociación Española de Ingeniería del Paisaje. España.
- Suárez, Jaime. (2001). *Control de erosión en zonas tropicales*. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia.
- Tamayo y Tamayo, M. (2004). *El Proceso de la Investigación Científica*. Limusa, S.A. México.
- United States Department of Agriculture. (1999). *Soil Taxonomy A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. Estados Unidos.
- Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL). (2006). *Manual de trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales*. Caracas, Venezuela.

Villón, M. (2007). *Hidráulica de canales*. Editorial Villón. Lima, Perú.

Wischmeier, W. y Smith, D. 1978. Predicting rainfall erosion losses. Agriculture Handbook No. 537, USDA. Washington D.C., Estados Unidos.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

TÍTULO	PROPUESTAS DE TÉCNICAS DE BIOINGENIERÍA PARA MITIGAR EL PROCESO EROSIVO EN EL BLOQUE JUNÍN 5 DE PETROJUNÍN EN ZUATA EDO. ANZOÁTEGUI
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CVLAC / E MAIL
RODRÍGUEZ LÓPEZ, WINSTON ALEXANDER	CVLAC: 20.712.136 E MAIL: WINSTON_RL@HOTMAIL.COM
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALÁBRAS O FRASES CLAVES: EROSIÓN, BIOINGENIERÍA, VETIVER, CÁRCAVAS, USLE, ZUATA.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÀREA	SUBÀREA
INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS	Ingeniería Civil

RESUMEN (ABSTRACT):

En esta investigación se diseñó una propuesta de mitigación del proceso erosivo actuante en los taludes pertenecientes a las plataformas de las macollas de producción MPJ-06 y MPJ-07 de la empresa PETROJUNÍN, con la finalidad de asegurar la integridad de las obras ejecutadas en el Bloque Junín 5, reduciendo el impacto ambiental y disminuyendo los costos en comparación a otras labores de control erosivo, evitando así comprometer la producción nacional petrolera. Para el desarrollo de las propuestas se estudiaron las características del suelo, continuando con la estimación de la pérdida de suelos en los casos estudiados mediante la utilización de la ecuación universal de pérdida de suelos. Una vez obtenidos los resultados se determinó que el proceso erosivo en MPJ-06 es de tipo moderado, por lo que se recomendó la siembra de barreras de vetiver en esta para la mitigación del proceso erosivo actuante, mientras que los taludes de MPJ-07 se encuentran afectados por un proceso erosivo grave, que conlleva a que el tipo de mantenimiento a ejecutar para el control del proceso erosivo este compuesto por la siembra de barreras de vetiver complementado con mantos de protección contra la erosión y un sistema de drenaje superficial, el cual consta de canales de intercepción de escorrentía en la cresta de los taludes en corte y cunetas al pie de los mismos.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
ROJAS, LAURIMAR	ROL	CA	AS (X)	TU	JU
	CVLAC:	15.563.371			
	E_MAIL	laurimarrojas@hotmail.com			
	E_MAIL				
RONDÓN, ELYS	ROL	CA	AS	TU	JU (X)
	CVLAC:	8.440.241			
	E_MAIL	Elysrondon@gmail.com			
	E_MAIL				
GONZÁLEZ, AMARILIS	ROL	CA	AS	TU	JU (X)
	CVLAC:	9.815.723			
	E_MAIL	Amarilis_gonzalez17@hotmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2017	03	10
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
Tesis W. Rodriguez Rev 5 CD	Aplication. MS.word

CARACTERES EN LOS NOBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H I J K L M N O P Q R
S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL:

TEMPORAL:

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:
INGENIERO CIVIL

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:
PREGRADO

ÁREA DE ESTUDIO:
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

INSTITUCIÓN:
**UNIVERSIDAD DE ORIENTE, NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI , EXTENSIÓN
CANTAURA. VENEZUELA**

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN°0975

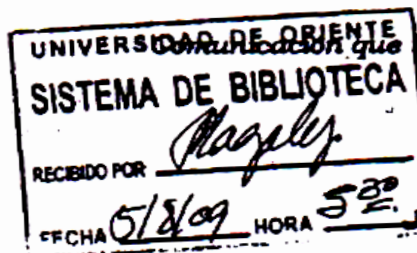
Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI - 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.



Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

JUAN A. BOLANOS CUNELLO
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Telemática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/manuja

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

DERECHOS

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajos de grado (Vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009)

“Los Trabajos de grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizadas para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario para su autorización”

RODRÍGUEZ, WINSTON

AUTOR

**RONDÓN, ELYS
JURADO**

**ROJAS, LAURIMAR
TUTOR**

**GONZÁLEZ, AMARILIS
JURADO**

LOAIZA, RAMÓN

POR LA COMISION DE TRABAJOS DE GRADO