

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS:

“EFICIENCIA DE LAS BIOCELDAS ELABORADAS DE *Schoenoplectus californicus* (c.a. meyer.) *soják* (la Totorá), EN COMPARACIÓN CON LAS GEOCELDAS EN LA RECUPERACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS EN TALUDES DE LA CARRETERA OTUZCO – COMBAYO, 2022”

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTION AMBIENTAL

Presentada por:

SEGUNDO ABELINO MURGA LÓPEZ

Asesor:

M.Cs. EDGAR DARWIN DÍAZ MORI

Cajamarca, Perú

2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- Investigador:
Segundo Abelino Murga López
DNI: 43125430
Escuela Profesional/Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias.
Programa de Maestría en Ciencias, Mención: Gestión Ambiental
- Asesor: Ing. MCs. Edgar Darwin Díaz Mori
- Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
- Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:
"EFICIENCIA DE LAS BIOCELIDAS ELABORADAS DE *Schoenoplectus californicus* (c.a. mey.)
sojók (la Totorá), EN COMPARACIÓN CON LAS GEOCELIDAS EN LA RECUPERACIÓN DE ÁREAS
DEGRADADAS EN TALUDES DE LA CARRETERA OTUZCO – COMBAYO, 2022"
- Fecha de evaluación: **04/09/2024**
- Software antiplagio: TURNITIN URKUND (ORIGINAL) (*)
- Porcentaje de Informe de Similitud: **10%**
- Código Documento: **oid:3117:378143805**
- Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: **12/09/2024**

<i>Firma y/o Sello Emisor Constancia</i>
 ----- MCs. Edgar Darwin Díaz Mori DNI: 27041767

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

COPYRIGHT © 2024 by
SEGUNDO ABELINO MURGA LÓPEZ
Todos los derechos reservados



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDUCD
Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERÚ



PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 16:05 horas, del día 02 de agosto del dos mil veinticuatro, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **Dr. AUGUSTO HUGO MOSQUEIRA ESTRAYER, Dr. JIMY FRANK OBLITAS CRUZ, M. Cs. GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA** y en calidad de Asesor el **M. Cs. EDGAR DARWIN DÍAZ MORI**, actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada **"EFICIENCIA DE LAS BIOCELDA ELABORADAS DE *Schoenoplectus californicus (c.a. meyer.) sojak* (la Totora), EN COMPARACIÓN CON LAS GEOCELDA EN LA RECUPERACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS EN TALUDES DE LA CARRETERA OTUZCO - COMBAYO, 2022"** presentada por el **Bachiller en Ingeniería Hidráulica SEGUNDO ABELINO MURGA LÓPEZ**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó aprobado con la calificación de diecisiete (17) la mencionada Tesis; en tal virtud, el **Bachiller en Ingeniería Hidráulica SEGUNDO ABELINO MURGA LÓPEZ**, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias con Mención en **GESTIÓN AMBIENTAL**.

Siendo las 17:15 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

M. Cs. Edgar Darwin Díaz Mori
Asesor

Dr. Augusto Hugo Mosqueira Estrayer
Jurado Evaluador

Dr. Jimmy Frank Oblitas Cruz
Jurado Evaluador

M. Cs. Giovana Ernestina Chávez Horna
Jurado Evaluador

DEDICATORIA:

A mis hijas Dana y Valery, también a mi esposa Kathy Fernández porque son el motor de mi vida. También a mis padres Lorenza López e Hipólito Murga por su gentileza e inculcarme el amor al estudio.

A mis hermanos Jaime, Miguel y Wilma, quienes me guían y comprenden en cada paso de mi carrera profesional.

AGRADECIMIENTO

Al Ing. MCs. Edgar Darwin Díaz Mori, asesor de la investigación, por sus importantes y oportunas orientaciones y consejos que me permitieron culminar con éxito el presente trabajo de tesis, también al Lic. Jaime Murga López por su invaluable apoyo, tanto en los trabajos de campo como en los de gabinete, suministrando sus conocimientos en temas ambientales como remediación, revegetación, biodegradación y cobertura vegetal en taludes. Los aportes en calidad, necesarias en el desarrollo de este trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA:	v
AGRADECIMIENTO	vi
RESUMEN	xv
ABSTRAC	xvi
CAPITULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO II	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes	5
2.2. Bases Teóricas.....	11
2.2.1. <i>Schoenoplectus californicus (c.a. meyer.) soják</i> (la Totora)	11
2.2.2. Composición de <i>Schoenoplectus californicus (c.a. meyer.) soják</i> (la Totora)	13
2.2.2.1 La Celulosa	15
2.2.2.2 La Hemicelulosa.....	17
2.2.2.3 La Lignina.....	18
2.2.3. Propiedades físicas.....	19
2.2.4. Propiedades mecánicas.....	19
2.2.5. Geoceldas HDPE	19
2.2.6. Propiedades del Polietileno de Alta Densidad.....	20
2.2.6.1 Fácilmente fundible y moldeable.	20
2.2.6.2 Resistencia a la corrosión.....	21
2.2.6.3 Gran relación resistencia/densidad.	21
2.2.6.4 Durabilidad.....	21
2.2.7. El suelo.....	22
2.2.7.1 Degradación de los suelos.....	22
2.2.7.2 Descomposición y biodegradación.....	23
2.2.7.3 Procesos de biodegradación.	24
2.2.7.4 Descomposición orgánica.	24

2.2.7.5 Factores que controlan la descomposición.	25
2.2.8. Microorganismos	26
2.2.8.1 Clasificación de Microorganismos.....	27
2.2.8.2 Microorganismos Procariotas.....	27
2.2.8.3 Microorganismos Eucariotas.....	27
2.2.8.4 Microorganismos en el compostaje.....	28
2.2.8.5 Bacterias.....	28
2.2.8.6 Hongos.....	30
2.2.8.7 Protozoos y rotíferos.....	30
2.2.8.8 Bacterias Fotosintéticas (<i>Rhodospudomonassp</i>).	30
2.2.9. Compost	31
2.2.9.1 Oxígeno.....	32
2.2.9.2 Nutrientes.....	32
2.2.9.3 pH.....	32
2.2.9.4 Temperatura.....	33
2.2.9.5 Fase Mesófila.....	33
2.2.9.6 Fase Termófila.....	33
2.2.9.7 Fase de Enfriamiento.....	33
2.2.9.8 Fase de Maduración.....	34
2.2.10. Reacciones Bioquímicas.....	34
2.2.10.1 Carbono.....	34
2.2.10.2 Bacterias Autótrofas.....	34
2.2.10.3 Bacterias Celulóticas.....	34
2.2.11. Características del suelo	34
2.2.11.1 Textura del suelo.....	34
2.2.11.2 Permeabilidad.....	35
2.2.11.3 pH del suelo.....	35
2.2.11.4 Humedad.....	35
2.2.11.5 Composición del suelo.....	35
2.2.11.7 Erosión.....	35
2.2.12. Determinación de las propiedades físicas de las Bioceldas.....	36
2.2.12.1 Proceso de deshidratación del <i>Schoenoplectus californicus</i> (la Totora).....	36
2.2.12.2 Contenido de humedad.....	36
2.2.12.3 Densidad lineal (Dennier).....	36

2.2.13. Determinación de las propiedades mecánicas de las Bioceldas.....	37
2.2.13.1 Torsión.....	37
2.2.13.2 Alargamiento.....	37
2.2.14. Recuperación de áreas degradadas por la construcción.....	38
2.2.15. Cálculo y control de densidad de siembra	38
2.2.16. La Revegetación.....	39
2.2.17. Efectos hidrológicos de la vegetación	40
2.2.17.1 La Infiltración.....	40
2.2.17.2 Relieve topográfico.....	40
2.2.17.3. Técnicas de bioingeniería en el suelo.	40
2.2.17.4. Bioclima.	41
2.2.18. Procedimientos de instalación Bioceldas y Geocelda HDPE	41
2.2.18.1 Preparación del terreno	41
2.2.18.2 Excavación de las trincheras de anclaje y preparación de anclaje.	42
2.2.18.3 Extensión de las Bioceldas y las Geocelda HDPE.	43
2.2.18.4 Grapas y estacas de anclaje.	43
2.2.18.5 Llenado de las trincheras.....	44
2.2.18.6 Colocación de anclajes intermedios.....	45
2.2.18.7 Aplicación del suelo fértil.	45
2.2.18.8 Riego permanente.	46
2.2.18.9 Consideraciones.....	46
2.3. Conceptos Básicos	47
2.3.17. El Suelo.....	47
2.3.18. Relieve	47
2.3.19. Revegetación de áreas disturbadas por extracción de tierras en carreteras	47
2.3.20. Disponibilidad de nutrientes	48
2.3.21. Biodegradación	48
2.3.22. Los organismos	48
2.3.23. La transpiración.....	49
2.3.24. La cobertura vegetal	49

CAPITULO III.....	50
MATERIALES Y MÉTODOS.....	50
3.1 Ubicación de la investigación.....	50
3.1.1 Localización del estudio.....	50
3.2 Clima y meteorología.....	52
3.3 Edafología del proyecto.....	52
3.3.1 Características edafológicas del talud en estudio.....	53
3.4. Materiales.....	54
3.4.1 Material de estudio y herramientas de campo.....	54
3.5 Metodología.....	55
3.5.1 Unidad de análisis, población, muestra.....	55
3.5.2 Diseño metodológico.....	56
3.5.2.1 Tipo de investigación.....	56
3.5.2.3 Diseño estadístico.....	56
3.5.3. Técnicas y procesamiento y análisis de datos.....	57
3.5.3.1 Fase de campo.....	57
3.5.3.2 Fase de laboratorio.....	57
3.5.4 Determinación de las características físico – químicas del suelo.....	57
3.5.6 Determinación de propiedades físicas.....	58
3.5.6.1 Contenido de Humedad.....	58
3.5.6.2 Densidad lineal (Dennier).....	59
3.5.7 Determinación de propiedades mecánicas de las Bioceldas.....	60
3.5.7.1 Torsión.....	60
3.5.7.2 Alargamiento:.....	61
3.5.7.3 Ensayo de tensión:.....	61
3.5.7.4 Probetas de tejido mixto a tensión.....	62
3.5.7.6 Probetas de tejido mixto a compresión.....	63
3.5.7. Determinación de propiedades físico y mecánicas de las Geoceldas HDPE.....	64
3.5.7.1 Ensayos mecánicos.....	64
3.5.7.2 Prueba en función a la Norma ASTM D4761 – 02a.....	64
3.5.7.3 Norma ISO 13934-2.....	64
3.5.8 Cálculo de la cobertura vegetal.....	65

3.5.9 Procedimiento fotogramétrico mediante pixelado de la cobertura vegetal.	67
CAPITULO IV	68
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	68
4.1 Propiedades físico – mecánicas de las Bioceldas y las Geoceldas HDPE	68
4.2 Porcentaje de humedad retenido en las Bioceldas y las Geoceldas HDPE	74
4.3 Tiempo de biodegradación de las Bioceldas y las Geoceldas HDPE	77
4.4 Identificación de microorganismos que actúan en la biodegradación de las Bioceldas y las Geoceldas HDPE.....	80
4.6 Cobertura vegetal por metro cuadrado de Bioceldas y Geoceldas HDPE instalados	90
4.7 Determinación de la eficiencia de las Bioceldas elaboradas de <i>Schoenoplectus californicus (c.a. meyer) Soják</i> (la Totorá), en comparación con las Geocelda HDPE, en la recuperación de áreas degradadas en talud de la carretera Otuzco – Combayo, 2023	
CAPITULO V	98
5. CONCLUSIONES	98
RECOMENDACIONES VI.....	100
6. RECOMENDACIÓN DEL ESTUDIO	100
CAPITULO VII	101
7. REFERENCIAS	101
CAPITULO VII	105
8. ANEXOS.....	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación científica de <i>Schoenoplectus californicus</i> (c.a. mey.) soják (la Totora).....	12
Tabla 2 Morfología de la Totora <i>Schoenoplectus californicus</i> (c.a. mey.) soják.	13
Tabla 3 Composición bioquímica de la <i>Schoenoplectus californicus</i> (c.a. mey) sojak.....	14
Tabla 4 Sales minerales contenidas en las macrofitas.....	14
Tabla 5 Propiedades físicas químicas de la <i>Schoenoplectus californicus</i> (c.a. mey.) soják (la Totora).	15
Tabla 6 Propiedades físicas de la <i>Schoenoplectus californicus</i> (c.a. mey.) soják (la Totora).	19
Tabla 7 Propiedades físicas de la <i>Schoenoplectus californicus</i> (c.a. mey.) soják (la Totora)	19
Tabla 8 Degradación ambiental al suelo en proyectos mineros y obras civiles.....	22
Tabla 9 Escala de coberturas Braun- Blanquet (Matteucci y Colma, 2002).....	39
Tabla 10 Frecuencia de anclajes por pendiente de talud.....	45
Tabla 11 Puntos de ubicación del área del proyecto en coordenadas UTM.....	50
Tabla 12 Ensayo de tensión analítico 1 de índice a las bioceldas.....	68
Tabla 13 Propiedades mecánicas y físicas de las geoceldas hdpe de alta densidad según la norma ISO's y ASTM-D del catálogo Wavin Perú.....	70
Tabla 14 Propiedades físicas de las bioceldas, <i>Schoenoplectus californicus</i> (c.a. mey.) soják. Empleados en la investigación.....	72
Tabla 15 Propiedades mecánicas de las bioceldas, <i>Schoenoplectus californicus</i> (c.a. mey.) soják....	72
Tabla 16 Resumen de las Propiedades mecánicas de las bioceldas, <i>Schoenoplectus californicus</i> (c.a. mey.) soják.....	73
Tabla 17 Microorganismos actuantes en la biodegradación de las bioceldas y las geoceldas hdpe ..	80
Tabla 18 Microorganismos específicos en la biodegradación de las bioceldas.....	81
Tabla 19 Resultados de análisis de suelo del talud en laboratorio SGS Perú	82
Tabla 20 Monitoreo del pH en las muestras donde se instaló las bioceldas y las geoceldas hdpe	83
Tabla 21 Tendencia del N, P y K en los puntos de monitoreo del suelo en donde se instaló las bioceldas y las geoceldas hdpe	85
Tabla 22 Monitoreo de la cobertura vegetal con bioceldas de febrero 2022, a marzo 2023.....	91
Tabla 23 Monitoreo de la cobertura vegetal con geoceldas hdpe de febrero 2022 a marzo 2023.....	92
Tabla 24 Indicadores Unitarios con Correlación lineal simple, con dos variables para la determinación de la eficiencia de las geoceldas y las bioceldas	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Schoenoplectus californicus (c.a. meyer) Totorales del Lago Titicaca	12
Figura 2 Estructura que forman las geoceldas hdpe.....	20
Figura 3 Número de organismos según el tiempo de degradación.....	26
Figura 4 Proceso de descomposición de la materia orgánica.....	31
Figura 5 Preparación del terreno	42
Figura 6 Trincheras de anclaje sobre la cabecera y el pie del talud	42
Figura 7 Extensión de la geocelda hdpe y bioceldas	43
Figura 8 Unión entre paneles sobre el talud.....	44
Figura 9 Rellenado de trincheras en la parte superior e inferior del talud	44
Figura 10 Rellenado del panel y trincheras con maquinaria.....	45
Figura 11 Riego permanente del cultivo de arriba hacia abajo	46
Figura 12 Revegetación y monitoreo de área vegetativo sobre el talud	46
Figura 13 Plano de ubicación del proyecto Carretera Otuzco La Rinconada – Combayo.....	51
Figura 14 Talud de la progresiva Km 01+650 y Km 01+700. Área de trabajo.....	54
Figura 15 Probeta de tejido con remate simple con torsión a tensión	62
Figura 16 Probetas codificadas (MS-22).....	63
Figura 17 Probetas codificadas de junco de Totora tejido	63
Figura 18 Proceso fotogramétrico mediante pixelado de la cobertura vegetal	66
Figura 19 Prueba de Tensión máxima a las bioceldas	69
Figura 20 Geocelda hdpe en la maquina Tensiómetro Electric Basic LTM-021	69
Figura 21 Deformación a la tracción sometida a la bioceldas y geocelda hdpe después de aplicada la carga en la maquina MTC's	70
Figura 22 Comportamiento de esfuerzo y deformación de la bioceldas y las geoceldas hdpe	71
Figura 23 Precipitaciones registradas durante los meses enero 2022 – febrero 2023	74
Figura 24 Temperaturas máxima y mínima, registradas para el lugar en estudio, durante los meses enero 2022 – febrero 2023	75
Figura 25 Comportamiento de la Humedad en la estructura de las bioceldas y las geoceldas hdpe... ..	75
Figura 26 Comportamiento de la humedad en el talud, con bioceldas y geoceldas hdpe.....	76
Figura 27 Monitoreo de la biodegradación de las bioceldas y las geoceldas hdpe en el talud	78
Figura 28 Comportamiento de la biodegradación en peso de ambos productos instalados en el talud... ..	78
Figura 29 Presencia de Protozoarios y Mohos en las muestras con bioceldas y geoceldas hdpe.....	80
Figura 30 Evolución de las Bacterias Totales y Levaduras en las muestras con bioceldas y geoceldas	81
Figura 31 El pH del suelo al momento de colocar las muestras de bioceldas y geoceldas hdpe en el talud.....	83

Figura 32 Variación del pH en los puntos de monitoreo donde se instaló las bioceldas y las geoceldas hdpe	84
Figura 33 Comportamiento del Nitrógeno y el Potasio de enero 2022, hasta enero 2023 en el talud con bioceldas y geoceldas hpde	85
Figura 34 Micronutrientes tomados al inicio y final del proyecto en las muestras con geoceldas hdpe	86
Figura 35 Evolución de otros micronutrientes en las muestras con bioceldas.....	87
Figura 36 Evolución de otros micronutrientes en las muestras con geoceldas hdpe.....	88
Figura 37 Evolución de la materia orgánica en las áreas de estudio con las geoceldas hdpe y las bioceldas desde enero 2022 hasta enero 2023.....	88
Figura 38 Evolución del pH y la relación Carbono/Nitrógeno en las áreas de estudio con las bioceldas entre enero 2022 y enero 2023	89
Figura 39 Evolución del pH y la relación Carbono/Nitrógeno en las áreas de estudio con las geoceldas hdpe entre enero 2022 y enero 2023.....	89
Figura 40 Porcentaje unitario de la cobertura vegetal en el talud con bioceldas para el mes de marzo 2023.....	91
Figura 41 Porcentaje acumulado de la cobertura vegetal en el área del talud con bioceldas al cierre del proyecto para el de marzo 2023.....	92
Figura 42 Porcentaje unitario de cobertura vegetal en el talud con geoceldas hdpe, mes de marzo 2023.....	93
Figura 43 Porcentaje acumulado de la cobertura vegetal en el área del talud con geoceldas hdpe al cierre del proyecto para el mes de marzo 2023.....	93
Figura 44 Porcentaje de la cobertura vegetal por metro cuadrado con bioceldas y geoceldas hdpe al culminar el proyecto.....	94
Figura 45 Eficiencia de las bioceldas y las geoceldas hdpe.....	97

RESUMEN

La investigación se realizó en el talud natural de la margen derecha de la carretera Otuzco – Combayo, en la progresiva Km 01+650 Otuzco – La Rinconada de la ciudad de Cajamarca. Para ello se utilizó 50 m² de Bioceldas elaboradas de *Schoenoplectus californicus* (*c.a. meyeri*) *soják*, y 50 m² de Geoceldas HDPE de alta densidad de Pavco Wavin, instalados en el talud degradado con inclinación moderada siguiendo los procedimientos de instalación con el objetivo de evaluar la eficiencia de cada uno ellos. Se recogió muestras iniciales de suelo natural para los análisis de Nitrógeno, Fosforo y Potasio, (%) de humedad, pH, nutrientes, población microbiana, estudios edafológicos. Así como las pruebas físico – mecánicas y biológicas que fueron sometidas en laboratorio de resistencia de materiales. Además, durante los meses de monitoreo a los materiales de investigación en paralelo a las condiciones climáticas ayudaron a la biodegradación de las Bioceldas y las Geoceldas HDPE obteniendo microorganismos como los mohos 51.8%, bacterias 50.7% y levaduras 5.5%. Asimismo, aumento el contenido de materia orgánica, pH, micronutrientes y macronutrientes en el suelo durante la etapa de investigación que duro 12 meses, la interacción de estos elementos con el clima favorecieron la biodegradación y la revegetación de las áreas degradadas obtuvo un resultado de 79.9% para el área de las Bioceldas y 51.70% para el área de las Geoceldas HDPE. Por ende, la eficiencia de las Bioceldas y las Geocelda HDPE para la recuperación de áreas degradadas en taludes de la carretera Otuzco – Combayo, es superior al 75%.

Palabras clave: Eficiencia, Bioceldas y Geoceldas HDPE.

ABSTRACT

The investigation was carried out on the natural slope of the right bank of the Otuzco – Combayo highway, at the progressive Km 01+650 Otuzco – La Rinconada in the city of Cajamarca. For this, 50 m² of Biocells made from *Schoenoplectus californicus* (c.a. meyer.) were used, and 50 m² of high-density HDPE Geocells from Pavco Wavin, installed on the degraded slope with moderate inclination following the installation procedures with the objective of evaluating the efficiency of each one of them. Initial samples of natural soil were collected for the analysis of Nitrogen, Phosphorus and Potassium, % humidity, pH, nutrients, microbial population, and pedological studies. As well as the physical-mechanical and biological tests that were submitted in the materials resistance laboratory. Furthermore, during the months of monitoring the research materials in parallel to the climatic conditions, they helped the biodegradation of the Biocells and HDPE Geocells, obtaining microorganisms such as molds 51.8%, bacteria 50.7% and yeasts 5.5%. Likewise, the content of organic matter, pH, micronutrients and macronutrients in the soil increased during the research stage that lasted 12 months, the interaction of these elements with the climate favored biodegradation and revegetation of degraded areas, obtaining a result of 72.9. % for the Biocell area and 50.9% for the HDPE Geocell area. Therefore, the efficiency of Biocells and HDPE Geocells for the recovery of degraded areas on slopes of the Otuzco – Combayo highway is greater than 79.9%.

Key words: Efficiency, biocells and geocells.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La construcción de carreteras es una actividad muy importante para la interconexión de poblaciones del país. Sin embargo, estas obras civiles de corte, relleno y movimientos de tierras sobre los recursos, como es el caso de nuestros suelos también tienen un protagonismo popular ya que esta actividad puede tener un impacto ambiental negativo traducido en la alteración, compactación, degradación, erosión, deslizamiento y pérdida de minerales afectando a la flora, fauna y aquellas de elevado valor biológico del suelo. En la actualidad, se están estudiando alternativas sobre la recuperación de áreas degradadas. Además, existen empresas que utilizan productos industriales como las Geoceldas HDPE, que son productos sintéticos de alta densidad no biodegradables a corto plazo por sus propiedades físicas, mecánicas y químicas. Los geosintéticos no aportan a la conformación, recuperación, ni aseguran la calidad ecológica del suelo que puedan revertir el impacto; tampoco aportan los principales macronutrientes para las plantas como el Nitrógeno, Fosforo y Potasio, mucho menos su biodegradación permite la conformación de colonias de microorganismos capaces de depurar el material estéril. Por ello se ha propuesto introducir a la *Schoenoplectus californicus (c.a. meyer) Soják* (la Totorá). Un producto extraído de las orillas de la laguna Santa María en Chimbote, donde crece este peculiar cultivo, que por sus propiedades a través de un tejido manual se ha dado forma a las Bioceldas, para luego colocarlo a un talud de carretera en condiciones naturales. Utilizando el análisis estadístico descriptivo se ha hecho un comparativo de eficiencias entre las Geoceldas HDPE y Bioceldas; la investigación se realizó el monitoreo a las condiciones climáticas en la zona de estudio, a los materiales, al análisis de muestras enviadas a laboratorios y a los resultados de evolución de estos. Este

trabajo determina la eficiencia de ambos productos por las ventajas comparativas que se ha planteado en los objetivos planteados. Cabe resaltar que las Bioceldas en un proceso biodegradable es un material capaz de nutrir, fertilizar, colonizar y revegetar áreas impactadas en un 72.50% en comparación de las Geoceldas HDPE que llegó a un 50.20%

El planteamiento del problema, la construcción de carreteras es una actividad esencial para la interconexión de poblaciones del país y mejorar la economía peruana. Sin embargo, el trabajo de realizar el corte y relleno sobre los recursos naturales, como es el caso de nuestros suelos también tiene un protagonismo popular ya que esta actividad puede tener un impacto ambiental negativo. En Cajamarca este tema es más sensible no solo por la pérdida y ocupación directa de suelo sino también por la ubicación de yacimientos mineros en áreas vulnerables de la región como aquellas de elevado valor biológico; donde este proceso de exploración, corte y rellenos de tajo son removidas en grandes masas de tierra descrito en el según el texto único ordenado de la Ley General de Minería aprobado por Decreto Supremo N° 014-92-EM.

En la actualidad, en el mundo se están estudiando diferentes métodos y alternativas sobre la recuperación de áreas impactadas por la actividad minera, pues existen empresas que utilizan mecanismos industriales de alto costo como las Geoceldas HDPE, que son productos sintéticos de alta densidad no biodegradables a corto ni a mediano plazo por su naturaleza y propiedades físicas, mecánicas y químicas; pues los geosintéticos no aportan a la conformación, recuperación ni asegura la calidad ecológica del suelo que puedan revertir el impacto. Por ende, en este estudio se ha previsto aplicar Geoceldas HDPE y Bioceldas sobre una misma área degradada siguiendo los procedimientos de acondicionamiento e instalación de ambos productos, así como el monitoreo experimental y comparativo para luego determinar la eficiencia de ambos productos.

Figuroa (2021). Los diferentes proyectos explotación de minerales, carreteras donde existe corte, relleno, así como el movimiento de tierras y otras actividades donde prima la demanda la remoción de grandes cantidades de masas de tierra para su ejecución. trayendo como consecuencia la pérdida del ente biológico del suelo. Donde el área de medio ambiente trata de recuperar y sanear el espacio removido instalando Geoceldas HDPE, que no son degradativas en paralelo al suelo orgánico; presentando posteriormente dificultades para la recuperación del suelo; por ende, se pretende a través de este trabajo de investigación descriptivo experimental buscar alternativas como la aplicación e instalación de Bioceldas elaboradas de *Schoenoplectus californicus* (c.a. meyer.) Soják (la Totorá) por ser de naturaleza biodegradables y determinar la eficiencia en comparación con las Geoceldas HDPE en la recuperación de áreas degradadas en taludes. De los resultados obtenidos de la investigación se podrá tomar las decisiones más adecuadas con las entidades públicas y privadas que se dedican a mitigar y solucionar el impacto ambiental sobre los suelos que será en beneficio directo como: la actividad minera, obras civiles en carreteras, parques, jardines en talud y la rentabilidad de los bioproductos como forma de reemplazo por el alto costo de los geosintéticos evitando así la utilización de los productos industrializados y optando por los productos biodegradables.

De acuerdo con ello se planteó como objetivo general: Determinar la eficiencia de Bioceldas elaboradas de *Schoenoplectus californicus* (c.a. meyer.) Soják (la Totorá), en comparación con las Geoceldas HDPE, en la recuperación de áreas degradadas en taludes de la carretera Otuzco – Combayo, 2022”. Y los siguientes objetivos específicos: a) Determinar las propiedades físico - mecánicas de las Bioceldas y las Geoceldas HDPE. b) Calcular in situ el porcentaje de humedad retenido en las Bioceldas y Geoceldas. c) Determinar in situ el tiempo biodegradación de las Bioceldas y las Geoceldas HDPE. d) Identificación del microorganismo que actúan en la biodegradación de las Bioceldas y las Geoceldas HDPE. e)

Determinación de las concentraciones del N, P y K en los taludes donde se han instalado las Bioceldas y las Geoceldas HDPE y f) Determinar la cobertura vegetal por metro cuadrado de Bioceldas y Geoceldas HDPE instalados.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Arutchelvi, (2021). Una manera simple y rápida de evaluar la biodegradación de los polímeros es a través de la determinación de pérdida de peso del material, el cual es detectado sobre dicho polímero, el mismo que muestra deterioro en su integridad, producto de un ataque microbiano. Por otra parte, la degradación de los polímeros sigue en el siguiente orden PE >LDPE>HDPE, hasta alcanzar la mineralización a CO₂.

Zornberg, J.G., Gupta, R. (2020). Los plásticos sintéticos que constituyen cerca del 79% del uso total son tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP), polietileno (PE), poliestireno (PS), cloruro de polivinilo (PVC), poliuretano (PUR); cuyas propiedades físicas como la resistencia mecánica y su composición química de enlaces de carbono hacen que su degradación pueda tardar entre 50, 100 e incluso hasta 600 años (p.76).

Jalawi, (2020). Las condiciones óptimas para la degradación del polietileno van en relación de la temperatura, humedad y el pH, asimismo el medio mineral de crecimiento a pH 6.5. Así pues, se encontró que para la *Pseudomona putida* a un trabajo de agitación a 180 rpm, 37°C, por 7 días y a una presencia de 0.9% de polietileno ha mineralizado a CO₂ utilizando como fuente de carbono a los grupos O-H, C-O y C-H.

Butrón, (2020). La degradación microbiana de los plásticos se presenta como una alternativa ecológica para solucionar el problema de estos residuos, la degradación microbiana presenta condiciones de operación que no serían drásticas ni costosas (Shabbir et

al., 2020). Indica que la degradación microbiana interviene diferentes microorganismos que tienen una gran diversidad catabólica, que son capaces de degradar, transformar, sintetizar y acumular de forma natural un amplio rango de compuestos: desde ligninas, almidón, celulosa y hemicelulosa hasta hidrocarburos, fármacos y metales

E. Bochet, (2019). Las condiciones edáficas y la degradación de los taludes de carreteras son un factor muy importante que limita la colonización vegetal espontánea de los mismos en mayor medida que las limitaciones debidas a la llegada de semillas o al arrastre por erosión de estas. Por tanto, son estas condiciones las que están limitando la riqueza de especies que colonizan los taludes y su desarrollo, por lo que la mitigación de las malas condiciones edáficas debe ser el objetivo de los trabajos de revegetación de taludes en ambientes semiáridos como los estudiados. (p 51)

El conocimiento de las limitaciones a la colonización vegetal en taludes de carreteras nos debe ayudar a asignar recursos cabalmente según las necesidades de cada talud (E. Bochet et al. 2019). En el caso de taludes próximos a fuentes de semillas y con condiciones edáficas favorables para el establecimiento de la vegetación no es necesario intervenir, porque pueden revegetarse de forma natural. No obstante, en el caso de condiciones edáficas desfavorables y/o de una falta de proximidad del talud a las fuentes de semillas, se hará necesaria una ligera intervención bien a través de unas mejoras edáficas, bien a través de siembras, o bien combinando estas dos últimas intervenciones. Finalmente, hay áreas como los desmontes con pendientes mayores de 45° donde tanto la colonización natural como la restauración son prácticamente imposibles. En estas áreas se hace necesario llevar a cabo intervenciones con técnicas de ingeniería además de la revegetación para estabilizarlos y evitar la erosión; y también degradación de los suelos.

Geraldo, (2019). El objetivo fue presentar las especies y familias de plantas más utilizadas en la recuperación de áreas degradadas en las actividades de explotación de mineral de hierro con conclusión: En el proceso de recuperación con el uso de la naturaleza florística influyen en el éxito o la disminución de la recomposición. El clima, el alivio, la estructura del suelo, la composición química, la iluminación y la disponibilidad de agua son algunos factores que pueden interceptar con la dinámica de recuperación. Aplicar la especie directamente al suelo, que se realicen estudios de las regiones para la corrección previa de las no conformidades, y el estudio es fundamental en la toma de decisiones técnicas y especies a utilizar. Las especies más encontradas fueron: frijoles guandu, bragatinga, eucalipto, hierba, brachiaria, pau Brasil, árnica minería y hierba mofeta. Las familias más citadas fueron Fabaceae, Asteraceae, Melastomataceae y Orchidaceae.

Paradelo, (2023). Durante las actividades mineras, los perfiles originales de los suelos son destruidos y la exposición a las condiciones de la superficie se produce meteorización acelerada que da a lugar a suelos. Llegando a la conclusión: las propiedades físicas, químicas y biológicas son un problema para el desarrollo de la vegetación natural durante las labores de rehabilitación, siendo el factor limitante la materia orgánica, con un incremento de materia orgánica mejorará las propiedades físicas y la capacidad de retención de agua, aporta nutrientes como el Fosforo y Nitrógeno, incrementa la actividad biológica.

Brack, (2022). Los suelos de la selva mantienen su fertilidad, mientras exista un suelo vegetal que los alimente con materia orgánica. Asimismo, manifiesta que la deforestación produce una interrupción del ciclo de nutrientes, perdiendo su capacidad de autoalimentarse. Además, sostienen que la materia orgánica hacia la formación del humus es una fuente importante de nutrientes a través de los procesos de descomposición con la participación de

bacterias y hongos absorben nutrientes disponibles los pone a disposición de las plantas. Fijan nitrógeno (NO_3^- , NH_4^+), fósforo (H_3PO_4), calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}), potasio (K^+) y sodio (Na^+).

J. Prause, (2020). La disponibilidad de los nutrientes es fundamental para el desarrollo de los cultivos. El contenido de nutrientes del suelo depende del material original del suelo y su proceso de formación. Una disminución del 1% en el contenido de materia orgánica del horizonte superficial (0 – 20 cm) representa una pérdida de 1100 kg de Nitrógeno y 110 kg de Fosforo por hectárea.

Chavarría, (2020). Los organismos en el suelo sobre todo la fauna, pueden ser tanto los grandes como las gallinas ciegas (*Phyllophaga* sp), lombrices por ejemplo *Eisenia foetida*, los escarabajos como los estercoleros, los miriápodos como los ciempiés, pequeños organismos vegetales. A organismos como éstos, los conoceremos como macroorganismos, pero los hay un poco más pequeños como los isópteros, llamados también termitas. A éstos les llamaremos meso fauna o meso organismos del suelo. Finalmente tenemos a otros aún más pequeños, que en casos tendremos que usar microscopios o estereoscopios para poder observarles. Entre éstos tenemos los nematodos, que son pequeños gusanos aplanados, tenemos a los hongos, bacterias y virus.

Chavarría F. (2019). El suelo como un medio complejo, en constante cambio y en intrínseca relación con el aire, las rocas, el relieve, la flora, la fauna, el agua y otros factores climáticos. Todo esto tiende a que en los suelos se den características específicas tales como la textura, la estructura, la densidad, porosidad, la profundidad, pedregosidad, drenaje, el color, entre tantas otras. Las que a partir de ahora llamaremos propiedades físicas. Por el desconocimiento de las propiedades físicas que posee un suelo muchas veces se le expone a

su degradación y con ello la pérdida de sus principales funciones ecosistémicas y su capacidad productiva.

Un ecosistema degradado necesita de estrategias ambientales de restauración (proceso lento y dificultoso), para poder recuperar las condiciones iniciales del área. Las técnicas de restauración que se puedan aplicar son la revegetación con el cual incrementa la cobertura vegetal o barrera contra la erosión, ya que el suelo no posee de un elemento aislante para protegerse de las variaciones de la temperatura que pueden afectar la germinación y establecimiento de las plantas.

López, (2022). La preparación mecánica del terreno es necesario realizar una serie de labores, que genéricamente podría incluirse en lo que se denomina preparación de la cama de siembra y que están estrechamente relacionados con lo que es propiamente la implantación de la vegetación. Su objetivo es crear condiciones adecuadas para que las labores de implantación puedan realizarse correctamente, y asegurar además niveles óptimos de germinación y arraigo de la vegetación. El método de preparación que debe aplicarse está determinado por la forma de implantación de la vegetación que vaya a ser empleada, la accesibilidad y pendiente del talud, el tipo de suelo y su contenido en humedad.

R. Pascual, (2023). La materia orgánica (residuos de plantas y animales) está hecha de compuestos tales como los carbohidratos, ligninas y proteínas. Los microorganismos descomponen la materia orgánica en dióxido de carbono y los residuos más resistentes en humus. La materia orgánica y el humus almacenan muchos nutrientes del suelo, también mejoran su estructura, sueltan suelos de arcilla, ayudan a prevenir la erosión y mejora la capacidad de retención de nutrientes y agua de suelos arenosos.

La cantidad de materia orgánica del suelo depende de la vegetación, el clima, la textura del suelo y el drenaje de este. Así como las cianobacterias forman costras en la superficie de los suelos desnudos de vegetación y contribuyen así a la estabilización del suelo.

Los actinomicetos, como bacteria Gram positivas aerobia que forman micelios ramificados, degradan los restos vegetales y animales, polímeros complejos e hidrocarburos y mantienen el suelo suelto y desmenuzado. Además, cuando se incorporan los restos orgánicos al suelo se produce una intensa actividad microbiana, debido a la abundancia de restos fácilmente atacables. Después disminuye la actividad al ir quedando los restos más estables que sólo pueden ser descompuestos por los organismos más agresivos. Al principio actúan hongos, después las bacterias y por último los actinomicetos. Además, la degradación de componentes como la lignina, los compuestos fenólicos, las grasas y ceras requiere una actividad microbiana lenta, y por consiguiente su proceso de mineralización se resiste, por lo cual lo consideramos mineralización lenta.

M. Ccallao, (2020). La degradación de polímeros por *Pseudomonas*, demuestra que las *Pseudomonas* tienen la capacidad de asimilar los plásticos, convirtiéndolos de polímeros a monómeros y finalmente mineralizarlos en dióxido de carbono o en gas metano. Esta capacidad de asimilación de estos microorganismos se debe a la generación de enzimas que inician la ruptura de polímeros. Sin embargo, estos microorganismos no solo poseen la capacidad de asimilación de los polímeros si no que se adaptan a diferentes medios y condiciones bióticas y abióticas con mayor facilidad que otras bacterias, pero a largo plazo que varían de 10 hasta los 500 años. Por tanto, las revisiones de literatura demuestran que las *Pseudomonas* son un medio ecológico de retirar del medio ambiente polímeros como: polietileno de alta densidad (HDPE) y de baja densidad (LDPE), polietileno tereftalato (PET), polietileno (PE), polipropileno (PP), poliuretano (PU), polisulfuro de fenileno (PPS), etc.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. *Schoenoplectus californicus (c.a. meyer.) sojak (la Totorá)*

Hidalgo, (2019). Es una planta vascular, acuática y terrestre que se adapta a las condiciones del medio climático, es una fibra vegetal unidimensionales, biodegradables y renovables, de sección cilíndrica o triangular, sus tallos tienen su relleno poroso y fibroso. Su estructura interna está compuesta por un cilindro central con muchos haces libero-leñosos. que crece a la intemperie, soportando altas temperaturas. Su corteza es de color blanco, con nudos a cada 2 a 6 cm. Los rizomas contienen gran cantidad de sustancias de reserva, las que permiten a las plantas de totora mantenerse durante los períodos de sequía.

Además, es una fibra vegetal acuática que pertenece a la familia Cyperaceae del orden Cyperales, crece en humedales, lagos, ríos, estanques de agua dulce o salobre de manera silvestre. Composición química se encuentra dividida en 30.71% Hemicelulosa, 66.79% X – Celulosa, 27.8% Lignina, rico en Yodo: 0.78%, Calcio: 0.34%, Fosforo: 0.28% y un alto nivel en proteínas: 6.03% que se puede aplicar en el campo de la agricultura como abono en la fertilización de los suelos, en la cual se procede a cortar en pequeñas dimensiones la totora seca para depositarlas en la superficie.

Su crecimiento es rápido y abundante por lo tanto su capacidad de renovación. Y puede alcanzar una longitud máxima de 4 m; posee un diámetro de 2.5 a 5 cm; La estructura interna conserva tejidos tubulares esponjosos y con cámaras de aire lo que significa que es compleja, un material muy liviano y con buenas propiedades térmicas y acústicas; y cuando llega a envejecer toma una coloración marrón oscuro acumulando gran cantidad de sustancias de reserva.

Figura 1

Schoenoplectus californicus (c.a. meyer.) Totorales del Lago Titicaca (F. Choquelahua, 2019)



El tallo aéreo de las Totoras se encuentra sumergido, presenta clorofila, pero en la parte basal tiene una coloración blanquecina. El tallo subterráneo es un verdadero rizoma donde se observa una corteza blanca sin clorofila y un cilindro central con muchos haces libero leñoso, conformando una gran masa radicular, de espesor que alcanzar de 0 a 500 mm hasta 700 mm.

Tabla 1

Clasificación científica de Schoenoplectus californicus (c.a. meyer.) soják (la Totorá)

UBICACIÓN TAXONÓMICA	
Familia:	Cyperaceae
Género:	<i>Schenoplectus</i>
Especie:	<i>Schenoplectus californicus</i>
Nombre común	"Totorá"

Fuente: L. Ormaza, Situación actual de la actividad artesanal de la Totorá, su producción y difusión en el sector san miguel de Yahuarcocha, cantón Ibarra, provincia de Imbabura, Ibarra: Universidad Técnica del Norte (2019)

Tabla 2

Morfología de la Totora Schoenoplectus californicus (c.a. meyer.) sojak.

Morfología de la <i>Schoenoplectus californicus (c.a. meyer.) sojak (la Totor)</i>	
Rizoma	Posee un tallo grueso con hojas escamosas que crecen bajo tierra, tiene una textura esponjosa de color rojo oscuro.
Hojas	Las hojas de la totora se forman a nivel del nacimiento de los tallos y en forma de vaina lo rodean en la base.
Inflorescencia	La parte alta de la planta presenta una inflorescencia en umbela, con umbelillas dispuestas en sus ejes terminales
Flores	Presentan flores completas; sus verticilos externos están compuestos por cuatro escamas que hacen las veces de perigonio haploide.
Tamaño	La totora es una hierba acuática perenne, que puede llegar a medir hasta 4 m de altura, de los cuales al menos la mitad está sumergida bajo el agua y la otra parte se halla por encima de la superficie.

Fuente: L. Aza, La totora como material de aislamiento térmico: Propiedades y potencialidades, Universidad Politécnica de Catalunya, Escuela Superior de Arquitectura de Barcelona. (2019)

2.2.2. Composición de *Schoenoplectus californicus (c.a. meyer.) sojak (la Totor)*

De los muchos análisis existentes mencionamos los siguientes para orientar su composición:

Tabla 3*Composición bioquímica de la Schoenoplectus californicus (c.a. mey) sojak.*

Composición	Schoenoplectus californicus (c.a.mey) sojak		Llacho	
		%		%
Materia seca	12.50	29.54	3.80	22.35
Proteínas	5.60	12.20	6.00	19.91
Ceniza	6.50	9.76	20.50	25.19
Fibra cruda	18.90	39.64	9.40	13.56
Grasa	1.09	2.49	0.70	1.05

Fuente: Proyecto especial Binacional Lago Titicaca. (2019)**Tabla 4***Sales minerales contenidas en las macrofitas.*

Plantas	K	Na	Ca	Mg	SiO ₂	S	P	C	N	Fe	Cu
<i>Schoenoplectus</i>	6.8	2.5	0.9	0.1	1.0	0.7	0.2	39.7	1.8	950.0	5.5

Fuente: Laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía de la UNALM. (2019)

Hidalgo (2021). Algunos ensayos de le permitieron determinar las propiedades físicas como la capacidad de absorción del agua, porosidad, resistencia, velocidad de pérdida de humedad, entre otros. Obteniendo los siguientes datos:

Tabla 5

Propiedades físicas químicas de la Schoenoplectus californicus (c.a. meyer.) soják (la Totora).

Composición química	Elemento	Composición (%)
	Hemicelulosa	30.71
	X-Celulosa	66.79
	Lignina	27.80
Sección promedio de tallos (0.433 cm ²)	Totora atada con presión media y que no altere su volumen pero que mantenga estable el conjunto	Totora atada con cuerda a presión media para analizar el aumento de volumen de la muestra
Densidad	180 kg/m ³	
Absorción (saturada de agua 24 h.)	Aumenta 4 veces su peso seco inicial	Aumenta 50% de su peso seco inicial
Velocidad de absorción (primero 20 min. De inmersión)	7% aumento peso/min y 0.3%/min (estado de saturación)	3.8% aumento peso/min y 0.18%/min (estado de saturación)
Velocidad de pérdida de humedad (primero 20 min. De inmersión)	0.3% peso/min. y 0.13% peso/min (secado original)	0.3% peso/min. y 0.1% peso/min (secado original)
Aumento de volumen	16.6% (volumen seco). Ocasionado por el ensanchamiento de su sección transversal	
Tensión	38 kg/cm ²	
Compresión	15 kg/cm ² (un tallo de totora) 40 kg/cm ² o más (volumen compacto de tallos)	

Fuente: Propiedades de la totora, Hidalgo J. González M. (2021)

2.2.2.1 La Celulosa

La celulosa es un biopolímero completamente lineal cuya unidad básica es la D-glucosa que se enlaza sucesivamente a través de un enlace glucosídico en la configuración β (1 – 4), para formar moléculas de celobiosa que es la unidad más pequeña que se repite exactamente en la cadena polimérica. Cada unidad estructural (β – Dglucopiranososa) contiene tres grupos hidroxilo libres (uno primario y dos secundarios). Las moléculas de celulosa

tienen una fuerte tendencia a formar enlaces por puentes de hidrógeno intra e intermoleculares. (Reyes y Sáez, 2022, p. 28)

La celulosa es la principal componente de las paredes celulares de los árboles y otras plantas. Es una fibra vegetal que al ser observada en el microscopio es similar a un cabello humano, cuya longitud y espesor varía según el tipo de árbol o planta. Las fibras de algodón, por ejemplo, tienen una longitud de 20 – 25 mm., las de Pino 2 – 3 mm. y las de Eucalipto 0.6-0.8 mm. De igual manera, el contenido de celulosa varía según el tipo de árbol o planta que se considere. (Fernández, 2020, p. 31)

La celulosa ($C_6H_{10}O_5$) es el constituyente de la fibra de las plantas, las mismas que son sustancias blancas, insolubles de los disolventes ordinarios, solubles en hidróxido cúprico amoniacal, en álcali cáustico con disulfuro de carbono y solución clorada de cloruro de Zinc.

Desde el punto de vista químico, la celulosa es un polisacárido formado exclusivamente en unidades de D – glucosa a través de un enlace acetal, en el carbono 4 se diferencia del almidón. En 1.4 – glucosídico presentado por G da las sucesiones de glucosa. (Fernández, 2020, p. 42).

La celulosa es esencialmente blanca por lo que no requiere blanqueo. No obstante, durante el blanqueo de la pasta para eliminar el color de otros componentes, se puede producir la degradación de la celulosa, por lo que se reduce el rendimiento y se puede producir una disminución de las propiedades físicas y mecánicas de la fibra. Esta degradación puede ser de tipo hidrolítico, oxidante, alcalino, térmico, microbiológico o mecánico. (Roncero, 2020)

2.2.2.2 La Hemicelulosa

Las hemicelulosas son heteropolisacáridos (polisacárido compuesto por más de un tipo de monómero), formados por un conjunto heterogéneo de polisacáridos, a su vez formados por dos tipos de monosacáridos unidos por enlaces β (1-4) (fundamentalmente xilosa, arabinosa, galactosa, manosa, glucosa y ácido glucurónico), que forman una cadena lineal ramificada. Entre estos monosacáridos destacan más: la glucosa, la galactosa o la fructosa.

Forma parte de las paredes de las células vegetales, recubriendo la superficie de las fibras de celulosa y permitiendo el enlace de pectina. Mientras que, en la madera del pino insigne, las hemicelulosas, que forman parte de la matriz, junto a la lignina, donde reside la celulosa, representan entre un 27 y un 29 % de la misma, mientras que en la corteza solo alcanzan un 15 %. Las proporciones de esta molécula varían dependiendo de la edad y variabilidad de las especies cultivadas y mejoradas.

La hemicelulosa se caracteriza por ser una molécula con ramificaciones, como lo es el ácido urónico, capaz de unirse a las otras moléculas mediante enlaces que constituyen la pared rígida que protege a la célula de la presión ejercida sobre esta por el resto de las células que la rodean.

Son más difíciles de clasificar, es decir, son polisacáridos con grupos heterogéneos. Tienen un grado de polimerización entre 100 y 200 en fibras vegetales y constituyen alrededor del 26%. Son insolubles en agua, pero en medio alcalino se disuelven. Plantas herbáceas suelen contener más hemicelulosas y menos ramificados.

2.2.2.3 La Lignina

Detrás de celulosa y hemicelulosa, es el tercer biopolímero más abundante en la Tierra. Este polímero se encuentra principalmente en la lámina media de la pared celular y en las capas de la pared celular. La Lignina es de vital importancia para el organismo vegetal. Desempeña funciones en el transporte de agua, nutrientes y metabolitos en el sistema vascular facilitado por sus propiedades como estructura macromolecular. La lignina es la única fibra no polisacárido que se conoce. Es el constituyente que confiere a la madera su característica leñosa, es el responsable de la rigidez de la pared celular de los vegetales y es el encargado de darle el color característico gris a los vegetales cuando estas dejan de tener vida, forma parte de la fibra cruda de los alimentos.

La formación de lignina se observa en función de sus aspectos biológicos y bioquímicos. La lignina protege a los elementos vasculares de la madera contra el colapso celular, al reforzar mecánicamente las paredes de la célula, la lignina tiene un papel importante como agente de refuerzo mecánico aplicado a la totalidad del árbol. La lignina es un componente estructural que suministra a la madera sus propiedades únicas como las elásticas y de resistencia. La lignina está concentrada en capas tangenciales concéntricas con el eje de la célula. (Casey, 2021, p.67).

La lignina constituye un 25% de las paredes celulares de las plantas, junto con la celulosa y las hemicelulosas. Es una sustancia aromática que contiene grupos OH libres y del 15 al 20% de grupos *metóxilos*, a los que se debe la formación del alcohol metílico en la destilación seca de la madera. La lignina adquiere la coloración amarilla por sales de anilina, reacción que sirve para comprobar su presencia en el papel. (Glasser, 2021, p. 39).

2.2.3. Propiedades físicas

Tabla 6

Propiedades físicas de la Schoenoplectus californicus (c.a. mey.) soják (la Totora).

Propiedades Físicas	
Densidad	Un grupo de totora atada con presión mediana, de manera que no altere su volumen pero mantenga estable el conjunto, tiene un peso de 180 kg/m ³
Absorción	La totora sin presión, al estar saturada de agua (24 horas sumergida) aumenta en promedio cuatro veces su peso seco inicial.
Velocidad de Absorción	La velocidad inicial de absorción, tomada en los primeros 20 minutos de inmersión, es de 7% de aumento de su peso/minuto, y la velocidad de absorción general, hasta su estado de saturación, es de 0.3%/minuto.
Velocidad de pérdida de humedad	La velocidad inicial de pérdida de peso al secarse, tomada en los primeros 20 minutos, es de 0.3% de pérdida de su peso/minuto, y la velocidad de secado general hasta su estado seco original, es de 0.13%/minuto

Fuente: Laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía de la UNALM (2019)

2.2.4. Propiedades mecánicas

Tabla 7

Propiedades físicas de la Schoenoplectus californicus (c.a. mey.) soják (la Totora)

Propiedades Mecánicas	
Tensión	A partir de probetas y ensayos se obtiene un esfuerzo de 88,501 MPa y una deformación al esfuerzo de 0,05132 (mm/mm). Equivalente a: 38 kg/cm ²
Compresión	Un tallo de totora aislado, resiste alrededor de 15kg/cm ² . La resistencia a la compresión aumenta si se trabaja con grupos de tallos de totora juntos y aumentará aún más si este grupo es sujetado con presión para conseguir un volumen compacto, pudiendo llegar hasta 40 kg/cm ²

Fuente: Laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía de la UNALM. (2019)

2.2.5. Geoceldas HDPE

Son geosintéticos fabricados a partir de material de polipropileno y polietileno y que fueron utilizados inicialmente para mejorar las condiciones del suelo, originalmente fueron desarrolladas por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE). Consisten en celdas tipo modelo panal de abejas formadas mediante tiras laminares de Polietileno de alta densidad (HDPE) o Polietileno (pe) unidas mediante soldadura ultrasónica

en los anchos de las tiras (Presto, 2020, p.43). Existen diversas concepciones del sistema de Geoceldas HDPE como se muestra en la figura 2.

Figura 2

Estructura que forman las Geoceldas HDPE (Pavco Wavin, 2020)



La Geoceldas HDPE de alta densidad son recubrimientos que se utilizan como revestimiento superficial para proteger los taludes y las márgenes de los ríos contra la erosión respectivamente. Estos sistemas de confinamiento con geosintéticos permiten contener y sostener mecánicamente suelo con fines de revegetación como medio de protección ante posibles problemas de erosión, estos sistemas innovadores proporcionan una gran durabilidad a lo largo del tiempo.

2.2.6. Propiedades del Polietileno de Alta Densidad

2.2.6.1 Fácilmente fundible y moldeable. Uno de los principales beneficios del polietileno de alta densidad proviene de su maleabilidad. Gracias a que presenta un alto punto de fusión, el HDPE permanece rígido hasta temperaturas muy altas. Sin embargo, una vez que ha alcanzado su punto de fusión, el material plástico se puede moldear de manera rápida y eficiente.

2.2.6.2 Resistencia a la corrosión. El polietileno de alta densidad resiste el moho, la corrosión y la podredumbre. El HDPE puede soportar la mayoría de los ácidos y bases de minerales fuertes y tiene una excelente resistencia a los químicos que se encuentran naturalmente en el suelo. Además, el material es prácticamente impermeable a los productos químicos, agua, solventes, ácidos, gases, detergentes y líquidos de limpieza más comunes.

2.2.6.3 Gran relación resistencia/densidad. La densidad del polietileno de alta densidad puede variar de 0.93 a 0.97 gramos, aunque la densidad de HDPE es solo marginalmente más alta que la que presenta el LLDPE (polietileno de baja densidad lineal), sin embargo, la estructura lineal del HDPE muestra que el material tiene poca ramificación, lo que le ofrece fuerzas intermoleculares más fuertes y mayor resistencia a la tracción que el LLDPE. Es por esta razón que un recipiente de polietileno de alta densidad de 60 gramos puede contener de manera segura casi cuatro litros de líquido o aproximadamente tres kilos y medio de peso.

2.2.6.4 Durabilidad. La resina de PEAD es actualmente el estándar mundial para la contención debido a su durabilidad a largo plazo. Se caracteriza por una muy buena resistencia química, resistencia a los rayos UV, propiedades mecánicas versátiles, así como por su costo competitivo. En cuanto a las propiedades de la resina de PEAD, su durabilidad a largo plazo está en función de su resistencia al Agrietamiento por Tensión Ambiental (ESCR) del grado específico de resina de PEAD utilizado. Por lo tanto, la ESCR es la propiedad del material más limitante para el HDPE. La ESCR es la propiedad más importante del PEAD que determina su durabilidad mecánica a largo plazo y su resistencia a los daños mecánicos debidos a las tensiones impuestas durante la soldadura.

2.2.7. El suelo

Constituye un recurso natural que desempeña diversas funciones en la superficie de la tierra, proporcionando un soporte mecánico, así como nutrientes para el crecimiento de plantas y micro – organismos. (FAO, 2020)

2.2.7.1 Degradación de los suelos. Es un proceso degenerativo que reduce la capacidad actual o futura de los suelos para seguir desempeñando sus funciones. Esto obedece a causas naturales como a causas antrópicas. De forma general, se distinguen el proceso de degradación del suelo como el fenómeno que originan una degradación in situ del suelo. Pueden ser procesos de degradación física (compactación, artificialización) o química (acidificación, salinización, pérdida de materia orgánica o contaminación).

Tabla 8

Degradación ambiental al suelo en proyectos y obras civiles

Acción y/o Actividad	Factores que se afectan	Impacto
Desbroce	Suelo Paisaje Flora y fauna	- Remoción de la revegetación y deforestación. - Alteración de la calidad visual. - Alteración del hábitat natural y desplazamiento de la fauna
Destape	Suelo Paisaje Flora y fauna	- Aumento de los procesos erosivos. - Remoción de la vegetación y deforestación - Alteración del hábitat natural y desplazamiento de la fauna.
Carga y voladura	Suelo, flora y fauna paisaje Atmosfera Aguas superficiales y subterránea.	- Alteración de la calidad visual - Emisión de gases y polvo y vibraciones - Alteración de la calidad del agua - Remoción de la vegetación y deforestación - Alteración del hábitat natural y desplazamiento de la fauna.
Formación de escombreras	Suelo Paisaje Atmosfera	- Aumento de los procesos erosivos. - Alteración de la calidad visual. - Emisión de polvo a la atmosfera
Preparación	Atmosfera	- Alteración de la calidad visual. - Emisión de gases y polvo a la atmosfera

mecánica	Paisaje	- Emisión de ruido y vibraciones.
	Agua	- Obstrucción y sedimentación del río
Extracción y transporte de material	Atmosfera	- Alteración de la calidad visual
	Paisaje	- Emisión de gases y polvo a la atmosfera
	Suelo	- Alteración de la calidad del agua.
	Agua	- Alteración del nivel freático
	Flora y fauna	- Remoción de la vegetación y deforestación
		- Alteración del hábitat natural y deslizamiento de la fauna.

Fuente: Laboratorio de Suelo de la Facultad de Agronomía de la UNALM. (2019)

2.2.7.2 Descomposición y biodegradación

La materia de la naturaleza se transforma mediante conversiones biológicas. Aunque todos los seres vivos contribuyen a la vida, los microorganismos desempeñan un papel destacado en los cambios geoquímicos y la fertilidad del suelo. Transforman una cantidad enorme de materia orgánica y solamente ellos pueden realizar ciertas transformaciones esenciales. Estos cambios se realizan en diversos ecosistemas de la biosfera. Muchas transformaciones tienen lugar en el suelo, otras en ambientes acuáticos o en la atmosfera.

Los *actinomicetes*, son bacterias gram positivas aerobias que forman micelios ramificados, degradan los restos vegetales y animales, polímeros complejos e hidrocarburos y mantienen el suelo suelto y desmenuzado. La disponibilidad de nutrientes y de oxígeno determina el número y los tipos de *actinomicetes* de un suelo.

Otro grupo de organismos aerobios, los hongos, degradan la materia orgánica del suelo (de los compuestos simples a los polímeros complejos). Algunos hongos son depredadores de protozoos o nematodos, limitando su población en el suelo. Otros son microparásitos, atacan a otras especies de hongos (López, 2022, p. 69)

2.2.7.3 Procesos de biodegradación.

Granada (2024). Esta actividad consiste en la posibilidad de aplicar estrategias de nivel biológico, que se basan en la capacidad de los microorganismos de realizar procesos degradativos, empleando plantas, hongos, microorganismos o enzimas derivados de los mismos. Generalmente bacterias y hongos son los principales motores de transformación bioquímica en el suelo y tienen un papel crucial tanto en el destino como en la mitigación de muchos contaminantes (p.74). Estos microorganismos biodegradan de preferencia compuestos de similares características moleculares a las moléculas naturales.

2.2.7.4 Descomposición orgánica. Es el resultado de los procesos de digestión, asimilación y metabolización de un compuesto orgánico llevado a cabo por bacterias, hongos, protozoos y otros organismos. En principio, todo compuesto sintetizado biológicamente puede ser descompuesto biológicamente. Sin embargo, muchos compuestos biológicos (lignina, celulosa, hemicelulosa, etc.) tardan en ser degradados por los microorganismos debido a sus características químicas. La biodegradación es un proceso natural, ventajosa no sólo por permitir la eliminación de compuestos nocivos impidiendo su concentración, sino que además es indispensable para el reciclaje de los elementos en la biosfera, permitiendo la restitución de elementos esenciales en la formación y crecimiento de los organismos (carbohidratos, lípidos, proteínas). La descomposición puede llevarse a cabo en presencia de oxígeno (aeróbica) o en su ausencia (anaeróbica). La primera es más completa y libera energía, dióxido de carbono y agua, es la de mayor rendimiento energético.

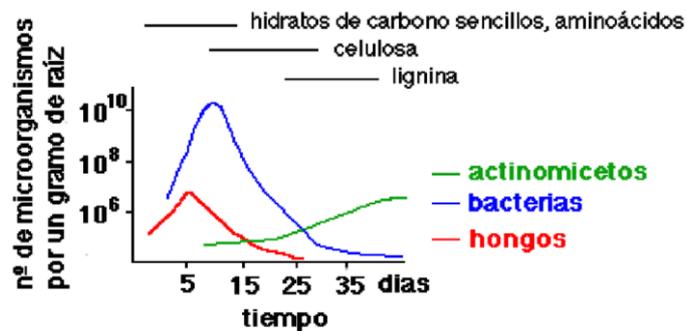
Los *actinomicetes*, bacterias Gram positivas aerobias que forman micelios ramificados, degradan los restos vegetales y animales, polímeros complejos e hidrocarburos y mantienen el suelo suelto y desmenuzado. La disponibilidad de nutrientes y de oxígeno determina el número y los tipos de *actinomicetes* de un suelo. Otro grupo de organismos aerobios, los hongos, degradan la materia orgánica del suelo (de los compuestos simples a los

polímeros complejos). Algunos hongos son depredadores de protozoos o nematodos, limitando su población en el suelo. Otros son microparásitos, atacan a otras especies de hongos. Así como los protozoos, aunque poco importantes en cuanto a número e impacto en las transformaciones bioquímicas, desempeñan un papel importante como consumidores de bacterias, regulando el tamaño y la composición de su población. Mediante su actividad, los microorganismos controlan la disponibilidad y el reciclaje de nutrientes tales como Carbono, Nitrógeno, Azufre y Fósforo.

2.2.7.5 Factores que controlan la descomposición. El proceso de la descomposición microbiana de la materia orgánica es controlado por varios factores que incluyen la temperatura del suelo, pH, concentración de oxígeno disuelto, y la composición química de la propia materia orgánica. Las bacterias y otros organismos de descomposición descomponen la materia orgánica más rápido a temperaturas de 30 a 35 °C – duplicando la temperatura en el intervalo de 0 a 35 °C por lo general doblará la tasa de descomposición. Además, las bacterias funcionan mejor en el intervalo de pH de 7.0 a 8.5. Cuando el pH es más bajo, la descomposición por hongos se ve favorecida por sobre la de las bacterias – en particular a pH de menos de 6. Los hongos no son tan eficientes como las bacterias en la descomposición de materia orgánica porque convierten más de la materia orgánica a su propia biomasa que lo que lo hacen las bacterias.

Figura 3

Número de organismos según el tiempo de degradación (Abanto, 2021)



Branco (2019). En el gráfico podemos observar que cuando se incorporan los restos orgánicos al suelo se produce una intensa actividad microbiana, debido a la abundancia de restos fácilmente atacables (p. 167). Después disminuye la actividad al ir quedando los restos más estables que sólo pueden ser descompuestos por los organismos más agresivos. Al principio actúan hongos, después las bacterias y por último los actinomicetos.

2.2.8. Microorganismos

Un microorganismo, también llamado microbio, es un ser vivo que solo puede visualizarse con el microscopio. La ciencia que estudia los microorganismos es la microbiología. Son organismos dotados de individualidad que presentan, a diferencia de las plantas y los animales, una organización biológica elemental. En su mayoría son unicelulares, aunque en algunos casos se trate de organismos cenóticos compuestos por células multinucleadas, o incluso multicelulares.

El concepto de microorganismo carece de cualquier implicación taxonómica o filogenética dado que engloba organismos unicelulares no relacionados entre sí, tanto procariotas como las bacterias, como eucariotas como los protozoos, una parte de las algas y los hongos, e incluso entidades biológicas de tamaño ultramicroscópico como los virus.

2.2.8.1 Clasificación de Microorganismos

2.2.8.2 Microorganismos Procariotas. Las bacterias y las arqueas son microorganismos procariontes de forma esférica (cocos), de bastón recto (bacilos) o curvado (vibrios), o espirales (espirilos). Pueden existir como organismos individuales, formando cadenas, pares, tétradas, masas irregulares, etc. Las bacterias son una de las formas de vida más abundantes en la tierra. Tienen una longitud entre 0.4 y 14 μm . Consecuentemente solo se pueden ver mediante microscopio. Las bacterias se reproducen mediante la multiplicación del ADN, y división en dos células independientes; en circunstancias normales este proceso dura entre 30 y 60 minutos.

Cuando las condiciones del medio son desfavorables, cuando cambia la temperatura o disminuye la cantidad de los nutrientes, determinadas bacterias forman endosporas como mecanismo de defensa, caracterizadas por presentar una capa protectora resistente al calor, a la desecación, a la radiación y a la trituración mecánica y que protege la bacteria de manera muy eficiente. De esta manera, pueden soportar temperaturas elevadas, periodos de sequía, heladas, etc. Cuando las condiciones del medio mejoran, se desarrolla una nueva bacteria que continúa el crecimiento y la multiplicación.

2.2.8.3 Microorganismos Eucariotas

El reino Fungi incluye muchas especies macroscópicas que en absoluto encajan en la definición de microorganismo, pero también forma microscópicas, como las levaduras, que son campo de estudio de la microbiología. Además, numerosos hongos producen enfermedades infecciosas en animales y plantas y tienen un gran interés sanitario y agropecuario.

2.2.8.4 Microorganismos en el compostaje. El proceso del compost los microorganismos rompen la materia orgánica y producen CO₂, agua, humus, el producto orgánico final más estable y calor. Bajo condiciones óptimas existen tres fases:

- Mesofílica o de temperatura moderada, que dura un par de días.
- Termofílica o de alta temperatura, que puede durar desde unos pocos días hasta meses.
- Maduración o enfriamiento, que dura varios meses.

Diferentes comunidades de microorganismos predominan durante las distintas fases. Pues la descomposición inicial es llevada adelante por microorganismos mesofílicos, que rompen rápidamente los compuestos solubles fácilmente degradables. El calor que producen causa un aumento rápido de la temperatura del compost.

Cuando se alcanza una temperatura por encima de 40°C, los microorganismos mesofílicos se vuelven menos competitivos y son reemplazados por los termofílicos.

En la fase termofílica, las altas temperaturas favorecen el desarrollo de organismos capaces de degradar moléculas más complejas como las proteínas, los ácidos grasos y polisacáridos como la celulosa y la hemicelulosa, las principales moléculas estructurales de las plantas.

“En la medida que estos compuestos altamente energéticos son agotados, la temperatura baja gradualmente y los microorganismos mesofílicos vuelven a colonizar y se encargan de la fase final de maduración de la materia orgánica remanente.”

2.2.8.5 Bacterias. Representan el 80 a 90 % del billón de microorganismos típicamente presentes en el compost. Son responsables de la mayor parte de la descomposición y de la generación de calor. Son de categorías nutricionales diversas y usan un amplio rango de enzimas para romper químicamente una gran variedad de material orgánico.

Al comenzar el proceso predominan las bacterias mesofílicas que en general corresponden a las especies que se encuentran en la superficie del suelo, Pseudónimas, un grupo caracterizado por su diversidad metabólica *Bacillus*, *Thiobacillus* y *Enterobacter* son algunos de los géneros encontrados. *Bacterias celulolíticas* del género *Celullomonas* también están presentes.

“A medida que el compost se calienta la población inicial es desplazada por miembros del género *Bacillus*, un grupo con capacidad de degradar proteínas y por *actinomyces*.”

La cantidad de *Bacillus* es regularmente alta entre los 50° y 55° C, pero decrece dramáticamente por arriba de los 60° C. Cuando las condiciones se vuelven desfavorables estas bacterias sobreviven formando endosporas y vuelven a estar activas cuando las condiciones se vuelven favorables. A las mayores temperaturas del compost se han aislado termófilas extremas como las bacterias del género *Thermus*.

En la fase termofílica (40 a 60° C) desarrollan fundamentalmente bacterias del grupo de los *actinomyces*. *En el compost este grupo cumple un rol fundamental en la degradación de compuestos orgánicos complejos como la celulosa, las hemicelulosas, la quitina y la lignina*. Poseen enzimas capaces de degradar materiales resistentes como corteza de árbol, trozos de madera y papel. Algunas especies aparecen en la fase termofílica y otras se vuelven importantes en la etapa de enfriamiento o maduración cuando sólo quedan los materiales más resistentes y participan en las últimas etapas de formación del humus.

“Los *actinomyces* son los responsables del olor a tierra en la fase final del compost. Forman filamentos ramificados en forma de telaraña que suelen verse en la parte superior de la pila en las etapas finales.”

2.2.8.6 Hongos. Incluyen a los hongos filamentosos y las levaduras. Típicamente saprofitos (obtienen la energía de la materia orgánica de las plantas y animales muertos) y aeróbicos, encuentran un hábitat ideal en el compost. Las especies fúngicas son numerosas tanto en las fases mesofílicas como en la termofílica. Crecen como filamentos casi invisibles o como colonias blancas o grises vellosas en la superficie de la pila. Estos son responsables de la descomposición de polímeros complejos (celulosa, hemicelulosas, pectinas, lignina).

En el compost son importantes porque rompen los restos vegetales y animales permitiendo que las bacterias continúen con la descomposición una vez que la celulosa se ha agotado. Pueden atacar material demasiado seco, ácido o con bajo contenido de nitrógeno de difícil descomposición por las bacterias.

2.2.8.7 Protozoos y rotíferos. Estos animales microscópicos unicelulares (protozoos) o multicelulares (rotíferos) se encuentran en la película de agua en el compost. Se alimentan de materia orgánica, bacterias y hongos. Su participación en la descomposición del material es menor.

2.2.8.8 Bacterias Fotosintéticas (*Rhodospirillum rubrum*). “Las bacterias fotosintéticas son microorganismos independientes y autosuficientes, sintetizan sustancias útiles a partir de las secreciones de las raíces, materia orgánica y/o gases nocivos, usando la luz solar o el calor del suelo como fuente de energía. En este proceso, los microorganismos producen aminoácidos, ácidos nucleicos, enzimas y azúcares, metabolitos que promueven el crecimiento y el desarrollo de las plantas y actúan como sustratos para incrementar las poblaciones de microorganismos benéficos.”

2.2.9. Compost

El compost es un proceso de degradación microbiológico aerobio de materiales orgánicos realizado en condiciones controladas, en el que debido a la actividad microbiana se obtiene un abono orgánico o un sustituto de la turba, excelente para la agricultura llamado compost.

El compostaje es un proceso que tiene lugar en presencia de oxígeno, en el que se da una sucesión de condiciones diferentes debido a la actividad combinada de una amplia gama de bacterias y hongos que llevan a cabo la oxidación de la materia orgánica, con la consiguiente producción de calor, que eleva la temperatura de la masa y de sustancias elementales útiles para la vida de las plantas. Los microorganismos proceden de la atmósfera, del agua, del suelo o de los mismos residuos. Cada grupo de microorganismos requiere una temperatura óptima para realizar su actividad y así podemos hablar de termófilos, mesófilos o criófilos.

Para que se produzca el proceso de compostaje se tiene que llevar a cabo una serie de reacciones, que se producen gracias a la acción conjunta de microorganismos de diverso tipo, como las bacterias y hongos.

Figura 4

Proceso de descomposición de la materia orgánica.



2.2.9.1 Oxígeno. Los organismos que intervienen en el proceso son aerobios, es decir, necesitan oxígeno para crecer y desarrollarse, por eso el residuo o mezcla de residuos que se desea compostar debe poseer una cierta porosidad que asegure la existencia en su interior del suficiente espacio para el aire. La concentración de oxígeno dependerá del tipo de material, textura, humedad, frecuencia de volteo y de la presencia o ausencia de aireación forzada.

2.2.9.2 Nutrientes. Sólo pueden ser objeto de compostaje los materiales que son biodegradables, es decir, asimilables por los microorganismos, y deben contener una cantidad equilibrada de elementos nutritivos. Especial importancia tiene la relación existente entre el carbono y el nitrógeno; se considera que el "ideal" es que esa relación esté comprendida entre 25:1 y 35:1. Si la relación carbono/nitrógeno es demasiado elevada, el proceso tiene lugar con lentitud, por falta de nitrógeno para cubrir las necesidades de los microorganismos. Por otra parte, si la relación es muy baja, tiene lugar un fenómeno de autorregulación que conduce a la pérdida del nitrógeno sobrante en forma de amoníaco. Conviene evitar las pérdidas de amoníaco porque supone pérdidas de un interesante elemento fertilizante y porque el amoníaco es un contaminante atmosférico. Después de carbono y nitrógeno, es importante, aunque en medida muy inferior, que los microorganismos cuenten con un adecuado suministro de fósforo. La relación carbono/fósforo óptimo es cualquiera comprendida entre 120:1 y 175:1.

2.2.9.3 pH. Si el pH se encuentra entre los valores de 5 – 7. En las primeras fases del compostaje, el pH desciende hasta 4 – 4.5 por efecto de los ácidos orgánicos, luego asciende hasta 8 – 8.5 debido al efecto alcalinizante del amoníaco y luego se estabiliza en un valor entre 7 – 8.

2.2.9.4 Temperatura. Estas temperaturas de la masa se consiguen de forma natural debido al calor generado en el proceso. Una primera elevación de temperatura señala que se ha iniciado el proceso biológico, con esto se eliminan gérmenes patógenos y semillas perjudiciales para las plantas; su posterior evolución determina el tipo de microorganismos que están actuando en cada momento.

En relación con la temperatura se distinguen en el compostaje varias fases, todas ellas importantes e imprescindibles:

2.2.9.5 Fase Mesófila. Inicial, de temperaturas no muy elevadas en el orden de 35°C. La masa vegetal está a temperatura ambiente y los microorganismos mesófilos se multiplican rápidamente. Como consecuencia la actividad metabólica, la temperatura se eleva y se producen ácidos orgánicos que hacen bajar el pH.

2.2.9.6 Fase Termófila. Cuando se alcanza la temperatura de 40 °C, los microorganismos termófilos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco y el pH del medio se hace alcalino. a los 60 °C estos microorganismos termófilos desaparecen y aparecen las bacterias esporógenas y actinomicetos. estos microorganismos son los encargados de descomponer las ceras, proteínas y hemicelulosa.

2.2.9.7 Fase de Enfriamiento. La falta de alimentos hace que disminuya la actividad biológica y, en consecuencia, la generación de calor metabólico. Conforme se consume el material degradable, la temperatura va disminuyendo hasta alcanzar la temperatura ambiente. Sin embargo, las transformaciones, que tienen lugar en ella, están muy relacionadas con la calidad del producto final.

2.2.9.8 Fase de Maduración. En la que las temperaturas se asemejan a las ambientales, los volteos sirven para homogeneizar la mezcla y su temperatura, a fin de eliminar el excesivo calor, controlar la humedad y aumentar la porosidad de la pila para mejorar la ventilación. Después de cada volteo, la temperatura desciende del orden de 5 a 10 °C, subiendo de nuevo en caso de que el proceso no haya terminado, ya que la temperatura disminuye si el oxígeno no es suficiente o se agota la fuente de carbono.

2.2.10. Reacciones Bioquímicas.

2.2.10.1 Carbono. Es un fenómeno bioquímico complejo porque intervienen reacciones encadenadas de síntesis y degradación ya que las cadenas largas de celulosa y hemicelulosa deben ser transformadas en moléculas simples, el fenómeno producido sobre las largas cadenas es por acción de:

2.2.10.2 Bacterias Autótrofas. Son capaces de utilizar el carbono de los carbonatos y del dióxido de carbono.

2.2.10.3 Bacterias Celulóticas. Degradan a la celulosa, estas bacterias son del orden de los actinomycetes, hongos, algunos protozoarios y uno que otro tipo de insecto. Este grupo ataca a la celulosa para su metabolismo utilizando la glucosa y su residuo descomponiéndolo en dióxido de carbono y alcoholes mediante la siguiente reacción.

2.2.11. Características del suelo

2.2.11.1 Textura del suelo. Esto indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena, el limo y la arcilla, en el suelo. La textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra al suelo y atraviesa. Deuren, (2018)

2.2.11.2 Permeabilidad. Es la propiedad que tiene el suelo de transmitir el agua y el aire y es una de las cualidades más importantes que han de considerarse para la agricultura. Cabe mencionar que mientras más permeable sea el suelo, mayor será la filtración.

2.2.11.3 pH del suelo. Los procesos de degradación bacteriana ocurren preferiblemente a un rango de pH aproximados entre 6 y 8. En el caso de biodegradación con hongos, un pH de aproximadamente 5 es el más adecuado.

2.2.11.4 Humedad. Este parámetro aplica solo para el caso de suelos. Normalmente el contenido óptimo de agua para reacciones de degradación en la zona insaturada del suelo estará entre 40 y 60% de la capacidad de retención de agua del suelo. En suelos más secos, la velocidad de degradación será menor. En suelos más húmedos, se formarán zonas parciales saturadas de agua (micro compartimentos) donde el suministro de oxígeno será menor y, por lo tanto, la tasa de degradación también disminuirá.

2.2.11.5 Composición del suelo. La composición del medio (suelo, sedimento o acuoso) afectará directamente la eficiencia de un proceso de remediación. La fase sólida del suelo está compuesta aproximadamente en un 95% por material inorgánico y solo entre 1 y 5% corresponde a materia orgánica. La materia inorgánica puede dividirse según el tamaño de las partículas que la componen en arena, limo y arcilla. La proporción relativa de cada una de estas partículas determina la textura del suelo e igualmente las propiedades físicas y químicas del suelo.

2.2.11.7 Erosión. Las lluvias de alta intensidad son uno de los principales agentes erosivos en estos espacios, puesto que, unido a las precipitaciones de elevada energía, actúan como factores potenciadores el vigor del relieve; una escasa resistencia mecánica de los materiales con una reducida superficie de cobertura vegetal nos da como resultado una compleja y dinámica combinación que conducen a una elevada tasa de pérdida de suelo y elementos

nutritivos, así como a una disminución de su potencial biológico. Este proceso conduce a la desertificación. (Díaz, 2019, p. 245)

2.2.12. Determinación de las propiedades físicas de las Bioceldas

2.2.12.1 Proceso de deshidratación del *Schoenoplectus californicus* (la Totorá)

A condiciones normales, la deshidratación es un proceso de secado constante o de forma gradual empleado temperaturas mayores a 30°; dejando a las láminas, *Schoenoplectus californicus* (C.A Mey) Sojak (La Totorá). En cada concentración por días. Es fundamental, además, hacer esto en las jornadas más calurosas del año y en zonas donde no llueva demasiado en verano, para asegurarnos la continuidad.

2.2.12.2 Contenido de humedad

Para la evaluación de esta propiedad, se utilizó la norma TAPPI T412 om – 94. El procedimiento consiste en calcular el contenido de humedad de la probeta, a partir de la pérdida de peso que ocurre cuando se elimina el agua contenida en la superficie en la superficie y el interior del material.

2.2.12.3 Densidad lineal (Denier)

De acuerdo con la Norma TAPPI T411. Se tomará una muestra de junco fibroso por cada estípite a ensayar, determinando la longitud media (L) de cada una, con un winche. Luego se determina el número de fibras (Nf) que conforman el tercio fibroso, con la presunción de que el área transversal del haz (AT) es una circunferencia, al igual que el área transversal de una fibra (af), conociendo el diámetro de una fibra individual. Para luego en una balanza analítica se toma el peso seco (mf) del haz fibroso. Finalmente, el valor de densidad lineal (DL) y para el valor de denier de la fibra de junco.

2.2.13. Determinación de las propiedades mecánicas de las Bioceldas

Para la preparación del material a ensayar, cada elemento desfibrado es dimensionado (longitudinal y transversal) dependiendo del ensayo a realizar y el espesor final se obtiene con el uso de una desfibradora manual. Los ejemplares seccionados son acondicionados a una temperatura mínima de 21° y humedad de 65 %, por un período de 24 horas, previo a la ejecución del ensayo. Conforme a lo establecido por la norma TAPPI T402 de acondicionamiento standard. Las pruebas mecánicas se realizan en condición saturada y condición seca a temperatura ambiente.

2.2.13.1 Torsión

Para este ensayo se va a trabajar con la norma NTE INEN 0140: Ensayo de torsión simple para alambres y otros. Consiste en torcer probetas de fibra de desde 20 mm de espesor y 2.50 m de longitud alrededor de su propio eje longitudinal hasta que estas se rompan. La torsión se efectúa en el mismo sentido durante todo el ensayo.

Sobre dos ejes paralelos de metal se sujetó la probeta con dos mordazas de tal forma que uno de los extremos se hacía rotar alrededor del eje longitudinal de la probeta con ayuda de un ratchet, mientras que la otra permanecía fija a una balanza romana mayor a: 12.0 kg.

2.2.13.2 Alargamiento

La elongación a la ruptura con los ensayos de tensión (Adaptación de la Norma TAPPI T494 om – 22).se expresa como un porcentaje de su longitud inicial. Para calcular el porcentaje de elongación, se dividió el alargamiento total producido entre la longitud de ensayo inicial.

2.2.14. Recuperación de áreas degradadas por la construcción

Recuperación “Es el proceso conducente a que las áreas que hubieran sido utilizadas o perturbadas por los diferentes componentes de las actividades mineras y obras civiles, alcancen estabilidad química y física, así como la recuperación de las comunidades de flora y fauna locales; en la medida de lo posible, condiciones que permitan algún uso posterior del suelo, sea de orden pasivo (bosques, esparcimiento, etc.) o productivo (pastoreo, forestal, etc.), entre otros aspectos específicos relacionados con las características particulares de dichas áreas remediadas”. (MINEM, 2018, p. 26)

Requena (2019). Esto se hace referencia a la restauración de la diversidad y de la calidad de la cubierta vegetal. Para ello, se hacen necesarias una serie de medidas de gestión del ecosistema, tratando de revertir los efectos perjudiciales de los procesos de degradación. Términos generales, la revegetación natural espontánea está muy limitada en áreas donde las precipitaciones anuales estén por debajo a 350 mm.

2.2.15. Cálculo y control de densidad de siembra

Las técnicas más eficientes para la revegetación y la estabilidad de los taludes son la regeneración natural, la siembra de especies nativas, el trasplante de plántulas, la aplicación de fertilizantes con escarificación del suelo, el uso de mantas sintéticas, biomantas y la polimerización de polímeros en gel.

Tabla 9

Escala de coberturas Braun- Blanquet (Matteucci y Colma, 2020)

Escala de cobertura Braun - Blanquet	
Continuo	mayor de 75%
Interrumpido	50% a 75%
Disperso	25% a 50%
Raro	15% a 25%
Muy raro	5% a 15%
Esporádico	1% a 5%
Ausente	menos 1%

2.2.16. La Revegetación

La vegetación en los proyectos de ingeniería se utiliza, generalmente, para reducir el impacto visual ocasionado por las obras y para realizar la calidad paisajística de las zonas donde se ha actuado. la existencia de una cubierta vegetal incrementa la capacidad de almacenamiento de agua del suelo y su tasa de infiltración. También aumenta la resistencia y la estabilidad del suelo en que se desarrolla. con la existencia de una cubierta vegetal incrementa la capacidad de almacenamiento de agua del suelo y su tasa de infiltración. También aumenta la resistencia y la estabilidad del suelo en que se desarrolla, se convierte en una solución técnica de primer orden para la restauración del suelo, ya que permite integrar el proyecto minero con su entorno ecológico y proteger con la cubierta vegetal las zonas con riesgo de erosión. (López, 2022)

La revegetación de los taludes artificiales, tanto en las excavaciones como los rellenos, se convierte en una solución técnica de primer orden para la restauración paisajístico – ambiental, ya que permite.

- Integrar la obra en su entorno ecológico – paisajístico.
- Proteger la cubierta vegetal las zonas con riesgos de erosión.

2.2.17. Efectos hidrológicos de la vegetación

La cubierta vegetal intercepta y retiene una proporción variable del volumen de agua de precipitación revivida. Parte de la precipitación interceptada se almacena en las hojas y tallos, desde donde regresa a la atmósfera por evaporación. El resto de la interceptación, denominada precipitación temporalmente interceptada, PTI, pasa al suelo escurriendo a lo largo de tallos, ramas y troncos, o goteando desde la superficie de las hojas. (López, 2022)

2.2.17.1 La Infiltración. La permeabilidad del suelo y su infiltración es mayor en suelos provistos de vegetación que en suelos desnudos. Las acciones de la cubierta vegetal que determinan la aparición de este efecto son las siguientes:

- La interceptación retrasa la llegada del agua al suelo y disminuye la intensidad de la precipitación, evitando que el suelo quede saturado en poco tiempo.
- La transpiración de las plantas regula la dosis de humedad del suelo, manteniendo una capacidad del almacenamiento disponible, aun en épocas de gran humedad, y que permite que este recupere su capacidad de infiltración más rápidamente.

2.2.17.2 Relieve topográfico. En la superficie plana las gotas de lluvia salpican las partículas de suelo aleatoriamente en todas direcciones, en un terreno en pendiente las partículas que se desplazan cuesta arriba, debido a su trayectoria parabólica, recorren menos distancia que si van cuesta abajo, por lo que, estadísticamente, cuando llueve sobre terreno inclinado y pelado, las partículas del suelo, por efecto de la salpicadura, tienden a desplazarse cuesta abajo, aumentando la proporción en función de la pendiente (López, 2022)

2.2.17.3. Técnicas de bioingeniería en el suelo. La bioingeniería del suelo es un caso particular de estabilización biotécnica en el que plantas completas o parte de estas, principalmente estacas de sauce se introducen en el suelo con una distribución específica,

de forma que proporcionan una serie de efectos que incrementan la estabilidad de los taludes. Los sistemas de bioingeniería del suelo son vulnerables recién instalados, pero ganan resistencia y eficacia una vez se desarrollan las raíces y la parte aérea de las plantas.

2.2.17.4. Bioclima. es la combinación de factores climáticos que determinan el crecimiento de la vegetación y la supervivencia de distintas especies, este factor no puede ser modificado. Para la selección de especies, su análisis y definición debe de realizarse en el siguiente nivel de detalle.

- Nivel local o microclima, condiciones locales, de carácter eminentemente topográfico, que modifican las características climáticas generales.

2.2.18. Procedimientos de instalación Bioceldas y Geocelda HDPE

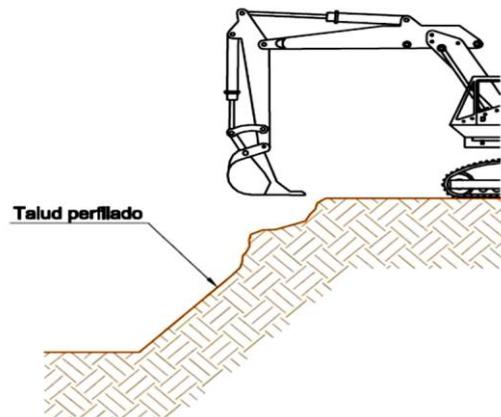
Para la instalación de Bioceldas y Geoceldas HDPE se debe seguir los siguientes procedimientos constructivos.

2.2.18.1 Preparación del terreno

- Limpie el talud retirando troncos, escombros, piedras y cualquier elemento suelto que dificulte el contacto directo con el suelo, en caso de los afloramientos de roca se dejarán. Rellenando huecos para obtener una superficie homogénea.
- El talud debe ser estable y el material que lo conforma denso y/o compacto, especialmente en taludes conformados por relleno. Además, se constituirá hasta alcanzar el grado de inclinación especificado por el ingeniero para evitar deslizamientos, erosión y escorrentía de alto grado.

Figura 5

Preparación del terreno

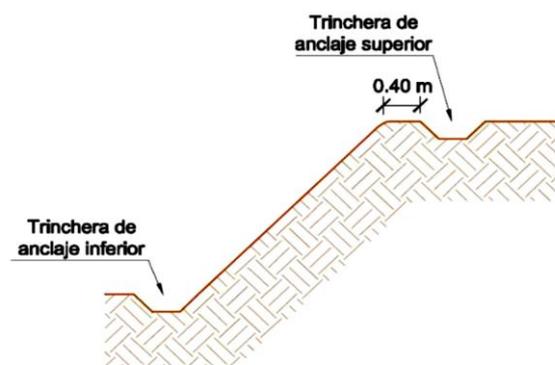


Fuente: Manual de Revegetación de suelo Shahuindo y Medio Ambiente (2018, p.12)

2.2.18.2 Excavación de las trincheras de anclaje y preparación de anclaje. Excave trincheras de anclaje en la corona y en el pie del talud, con sección trapezoidal, profundidad mínima de 0.20 – 0.30 m y ancho en la base de 0.30 – 0.40 m. Prepare bastones para sujetar la Geocelda HDPE (el largo dependerá de la consistencia del terreno).

Figura 6

Trincheras de anclaje sobre la cabecera y el pie del talud

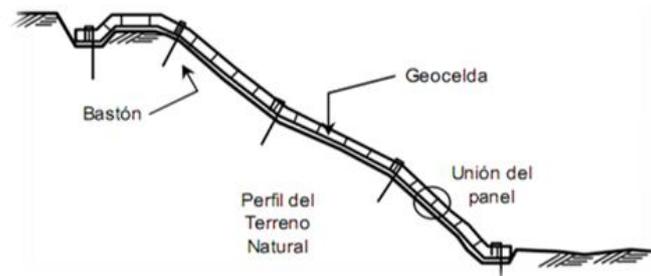


Fuente. Manual de Revegetación de suelo Shahuindo y Medio Ambiente (2018, p.13)

2.2.18.3 Extensión de las Bioceldas y las Geocelda HDPE. Para extender los paneles se debe fijar el borde superior del panel dentro de la trinchera de anclaje utilizando ganchos metálicos y/o estacas de madera, para luego expandirlos en sentido longitudinal al talud.

Figura 7

Extensión de la Geocelda HDPE y Bioceldas.

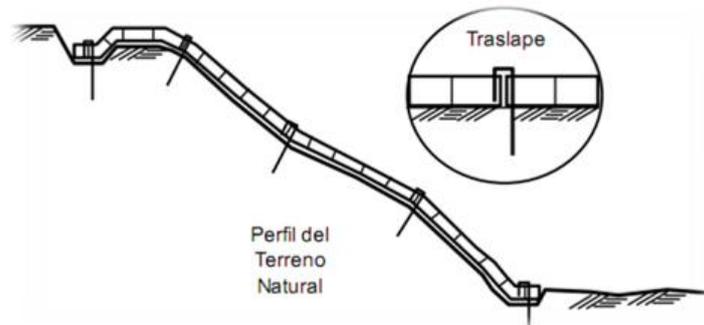


Fuente: Manual de Revegetación de suelo Shahuindo y Medio Ambiente (2018, p.14)

2.2.18.4 Grapas y estacas de anclaje. Se podrá utilizar biograpas de anclajes tipo “T” en varilla metálica y/o estacas de diámetro no menor a 6 mm (1/4 pulg) o estacas de madera de 1.5 pulg. Las dimensiones de las grapas deben establecerse de acuerdo con las condiciones locales. Cuando las Geoceldas HDPE y las Bioceldas se instalen sobre superficies artificiales donde no se pueda hincar ganchos, la unión entre paneles deberá hacerse mediante amarres con biocables, entrelazándolo en las aberturas de la geomalla inferior de cada panel.

Figura 8

Unión entre paneles sobre el talud

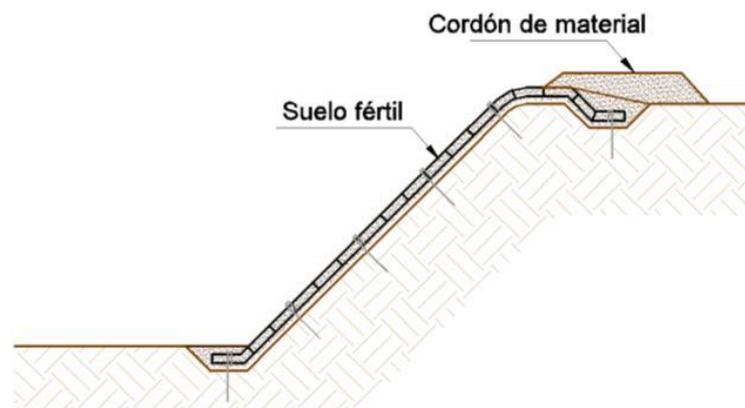


Fuente: Manual de Revegetación de suelo Shahuindo y Medio Ambiente (2018, p.14)

2.2.18.5 Llenado de las trincheras. Llene las trincheras de nivel superior e inferior de anclaje con el suelo de la excavación o con suelo fértil y compacte el material. Para prevenir el flujo concentrado de agua sobre la superficie, coloque un cordón de material en la corona del talud a todo lo largo de la superficie a proteger. Para taludes altos se debe interceptar el agua de escorrentía mediante zanjas, trincheras, cunetas de coronación y obras de recolección sobre el talud.

Figura 9

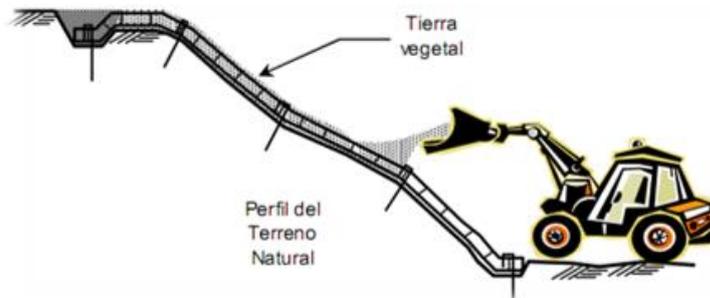
Rellenado de trincheras en la parte superior e inferior del talud



Fuente: Manual de Revegetación de suelo Shahuindo y Medio Ambiente (2018, p.15)

Figura 10

Rellenado del panel y trincheras con maquinaria.



Fuente: Manual de Revegetación de suelo Shahuindo y Medio Ambiente. (2018, p.15)

2.2.18.6 Colocación de anclajes intermedios. Coloque grapas intermedias dentro del área cubierta por la Geocelda HDPE garantizando un contacto continuo y ceñido con la superficie del terreno. Como guía general se recomienda colocar la cantidad de grapas o estacas indicadas en la tabla siguiente de acuerdo con la pendiente del talud.

Tabla 10

Frecuencia de anclajes por pendiente de talud.

Pendiente de Talud	Pendiente de Talud
Hasta 3H : 1V	1 a 2 anclajes / m ²
3H : 1V a 2H : 1V	2 a 3 anclajes / m ²
2H : 1V a 1H : 1V	3 a 5 anclajes / m ²

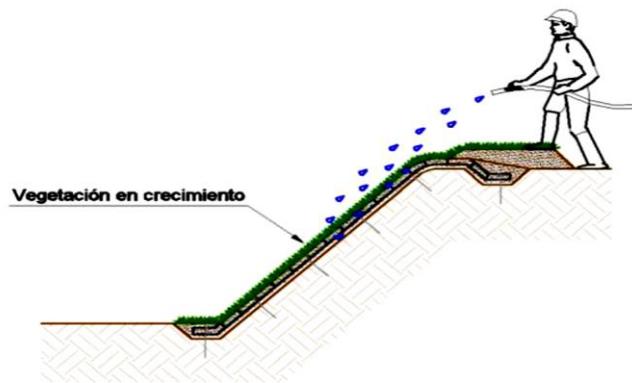
Fuente: Laboratorio de Suelo de la Facultad de Agronomía de la UNALM (2019)

2.2.18.7 Aplicación del suelo fértil. Prepare una mezcla fértil incluyendo semillas y fertilizantes de acuerdo con las indicaciones de un profesional en ciencias agrícolas. Disponga esta mezcla dentro de cada una de las celdas de la Geocelda HDPE.

2.2.18.8 Riego permanente. Aplique riego en forma de lluvia de acuerdo con el tipo de semillas y el régimen de precipitaciones de la zona; se deben definir riegos periódicos para evitar punto de marchitez en la revegetación y obtener una buena cobertura vegetal.

Figura 11

Riego permanente del cultivo de arriba hacia abajo.

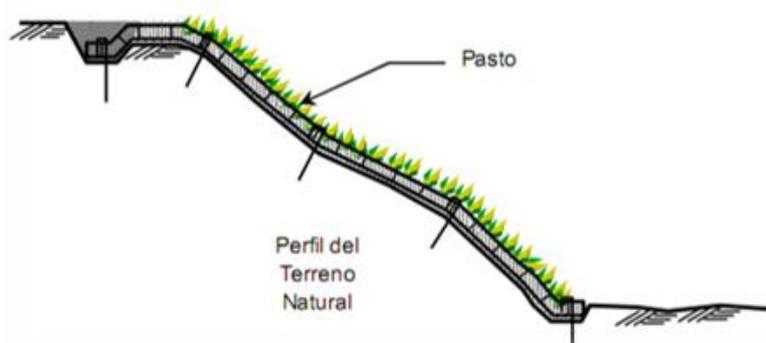


Fuente: Manual de Revegetación de suelo Shahuindo y Medio Ambiente (2018, p.15)

2.2.18.9 Consideraciones. En el caso de tierra vegetal, las semillas deben ser elegidas tomando en cuenta el clima, exposición al sol y el grado deseado de cubierta. El sistema de riego y mantenimiento en la etapa inicial es fundamental para el crecimiento del pasto.

Figura 12

Revegetación y monitoreo de área vegetativo sobre el talud.



Fuente: Manual de Revegetación de suelo Shahuindo y Medio Ambiente (2018, p.16)

2.3. Conceptos Básicos

2.3.17. El Suelo

Es uno de los factores más importantes para los trabajos de revegetación, siendo este el sustrato (material orgánico) en donde la planta va a germinar, establecerse y desarrollarse; debe contar con la textura y fertilidad adecuada para el sostenimiento de las plantas. En el caso del proyecto minero, el suelo cumple con las condiciones texturales como: Suelo de textura Franco a Franco – Arenoso, pero debido a su pH ácido (menor a 3.5), la poca disponibilidad de fósforo y potasio y el bajo grado de descomposición de la materia orgánica, presentan un ambiente desfavorable para el desarrollo de las plantas limitando su supervivencia y desarrollo. Menciona también que el suelo como “una formación limítrofe, zona en que se compenetran la parte sólida, líquida y gaseosa de la tierra, lo mineral inorgánico, seres vivos y restos de la vida, crecimiento y destrucciones, lavados y evaporaciones, una complejidad natural sometida a una complejidad dinámica” (Albareda, 2020, p. 61).

2.3.18. Relieve

Dentro del proyecto se debe identificar áreas planas, donde la remediación puede realizarse sin ninguna dificultad y taludes con pendientes de suaves a moderadas las cuales requieren del uso de diferentes técnicas para la estabilización de suelo antes de remediación, y Taludes con pendientes empinadas, que requieren de técnicas especiales para poder realizar los trabajos de biorremediación. (Albareda, 2020, p. 68)

2.3.19. Revegetación de áreas disturbadas por extracción de tierras en carreteras

Según el Reglamento para el cierre de minas la remediación o rehabilitación, es el proceso que conduce a las áreas que hubieran sido utilizadas o perturbadas por los diferentes componentes en obras civiles, alcancen estabilidad química, física y biológica así

como la recuperación de las comunidades de flora y fauna locales; en la medida de lo posible, condiciones que permitan algún uso posterior del suelo, sea de orden pasivo (bosques, esparcimiento, etc.) o productivo (pastoreo, forestal, etc.)

2.3.20. Disponibilidad de nutrientes

En carencia de nutrientes (dadores y aceptores de electrones y sales nutrientes), la degradación del contaminante estará limitada, por lo tanto, para posibilitar o acelerar el proceso de degradación, será necesario agregar nutrientes. Principalmente, serán nitrógeno y compuestos fosforados (macronutrientes) (Albareda, 2020, p. 72).

2.3.21. Biodegradación

Se refiere a la degradación y asimilación de los polímeros por los organismos vivos, principalmente microorganismos tales como los hongos, bacterias y actinomicetos. Los polímeros pueden ser atacados por los organismos vivos química o físicamente por efecto combinado y acumulado de la luz, el calor, el oxígeno, el agua, la contaminación química, los microorganismos, más el efecto mecánico del viento y la lluvia.

Los ensayos de biodegradabilidad de los polímeros se estudian determinado:

- La producción de CO_2
- El consumo de oxígeno
- La pérdida de peso

2.3.22. Los organismos

Los organismos del suelo constituyen la fuente de material original para la fracción orgánica del suelo que antes dijimos puede ser entre un poco más de cero hasta más de 15%. Los organismos pueden ser tanto restos de vegetales como de animales que al morir y

depositarse en el suelo sufre profundas transformaciones facilitadas por factores físicos, químicos y biológicos.

2.3.23. La transpiración

Este proceso en el cual la planta toma el agua del suelo por medio del sistema radicular, la hace circular a través de la planta hacia las hojas y la libera en la atmósfera en forma de vapor.

2.3.24. La cobertura vegetal

Es aquella que consideran el desarrollo de las plantas o cultivos, con la finalidad de mejorar la capacidad productiva de los terrenos y ayudar a disminuir la erosión de los suelos. (Fernández, 2020, p. 46)

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación de la investigación

3.1.1 Localización del estudio

El proyecto se ubicó en las inmediaciones de la vía que comunica la ciudad de Cajamarca con el centro poblado de Otuzco hacia el centro poblado de Combayo margen derecha del río Chonta, al noroeste y a 8 km de la ciudad. La investigación se encuentra en el tramo inicial de la progresiva Km 01+ 650, al Km 01+700, de la carretera Otuzco La Rinconada – Centro Poblado de Combayo, donde existió el mejoramiento de la carretera y las tareas de corte y relleno para el ensanchamiento de la carpeta de la vía asfáltica. A una elevación en la zona de estudio de 2920 m.s.n.m. con las siguientes coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM) – WGS884.

Tabla 11

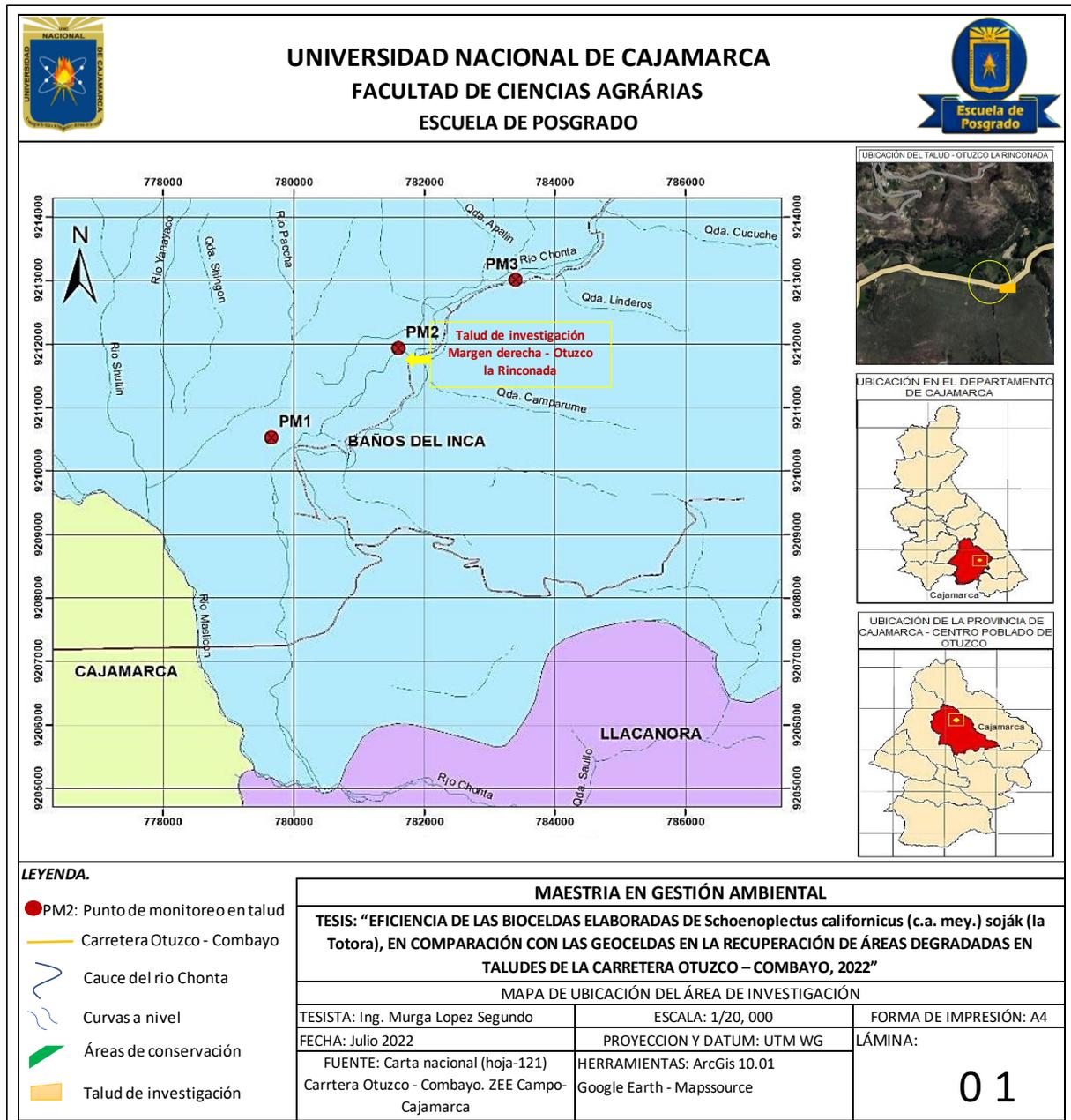
Puntos de ubicación del área del proyecto en coordenadas UTM.

Vértices	Coordenadas UTM	
	WGS84	
Puntos	Este	Norte
1	779666	9210528
2	781611	9211995
3	783403	9213008

Fuente: C. Infante (2020)

Figura 13

Plano de ubicación del proyecto Carretera Otuzco La Rinconada – Combayo.



El proyecto en mención se encuentra en el centro poblado de Otuzco, para ello existen dos opciones de ingreso. La primera, se enfoca en ingresar desde la misma ciudad de Cajamarca, partiendo por la avenida Hoyos Rubios directamente, hasta el aeropuerto de la ciudad por vía asfaltada, siguiendo al noroeste de esta por la misma vía, pero sin asfaltar

(trocha carrozable), finalmente, después de 25 minutos aproximadamente se llega a la ciudad de Otuzco. La segunda opción, es partir desde el distrito de Baños del Inca, siendo el único acceso a través de una trocha carrozable (sin asfaltar), a través de la cual se podrá llegar directamente al destino en 15 minutos aproximadamente.

3.2 Clima y meteorología

El clima del centro poblado es variado, frío en las alturas andinas como es el caso de Combayo y cálido semi frío en la parte baja de Otuzco La Rinconada, pues la zona de estudio no cuenta con una estación meteorológica para la obtención de los datos atmosféricos. La estación meteorológica más cercana es la de Augusto Weberbaue (SENAMHI – Cajamarca), dicha estación nos proporciona los siguientes datos: la temperatura media de 14.1 °C; en la estación local varía entre 11.79 °C (marzo 2021) y alta 14.54 °C (mayo 2022). Además, la precipitación total anual en la estación Cajamarca es de 184 mm, en la estación local es de 199.7 mm, el mes más lluvioso es de diciembre a marzo y los menos lluviosos son los meses de junio a agosto. Mientras que la humedad relativa promedio anual es de 70 a 82% en la estación Cajamarca.

3.3 Edafología del proyecto

Se identificaron 7 unidades de suelos que fueron agrupadas taxonómicamente y descritas a nivel de Subgrupos, en el área de estudio se presentan los siguientes órdenes: Entisols, Inceptisols y Molisols. En general los suelos del área son de media baja fertilidad, siendo esta última predominante; además en su mayoría son franco arcilloso. Para la capacidad de uso mayor de las tierras, se han identificado tierras aptas para cultivos en limpio de calidad agrológica bajas y medias para pastos, tierras aptas para producción forestal de

calidad agrológica baja y tierras de protección. Para el uso actual de tierras se han identificado nueve (09) categorías: centros poblados, tierras con cultivos de hortalizas, árboles y otros cultivos permanentes, tierras de cultivo, tierras con pastos cultivados, praderas no mejoradas, tierras boscosas, tierras con poco matorral, y sin uso improductivos y sin cuerpos de agua. (A. Infante, 2020, p. 31)

3.3.1 Características edafológicas del talud en estudio.

Las características geomorfológicas del talud de la carretera Otuzco – Combayo, entre la progresiva Km 01+650 y Km 01+700 es un suelo franco arcilloso producto del corte de la construcción de la misma carretera. Los suelos de esta clase presentan limitaciones severas, tienen alto riesgo de erosión y/o degradación por factores climáticos y de construcción en los taludes. De acuerdo con la publicación realizada (E. Bochet, 2019, p. 121) sobre condiciones edáficas y la degradación de los taludes de carreteras son un factor muy importante que limita la colonización vegetal espontánea de los mismos en mayor medida que las limitaciones debidas a la llegada de semillas o al arrastre por erosión.

Como se aprecia en la figura 14, las características geológicas de la zona se consideran de un suelo desnudo de Clase III corresponden a la unidad estratigráfica de depósitos aluviales Halocenos considerada (E. Bochet, 2019, p. 122) en una matriz franco arenoso – arcilloso. No obstante, se hizo una ligera intervención de ingeniería a través de unas mejoras edáficas siguiendo los procedimientos de adecuación y preparación del terreno.

Figura 14

Talud de la progresiva Km 01+650 y Km 01+700. Área de trabajo



3.4. Materiales

3.4.1 Material de estudio y herramientas de campo. Se ha utilizado 50 m² Bioceldas de junco te Totora y 50 m² de Geoceldas HDPE de Pavco Wavin industrial polisintético. Además, se utilizó los siguientes equipos, instrumentos y materiales: Ropa de campo 3M, guantes de jebe, laboratorio de análisis de suelo y N, P y K, bolsas de cierre ziplot de polietileno de 15 x 20 cm, plumones, muestreador Red de fondo tipo Surber de 20 cm x 40 cm, sogas, estacas, cintas maskin tape, cascos, guantes, zapatos de seguridad, lentes, chaleco verde limón con cintas reflectivas, buguis, palas y picos.

- **Equipos.** GPS Garmin Serie: SUMMIT HT V1.10, laptop Lenovo serie S340, cámara fotográfica, termohigrómetro para medir la temperatura y humedad, nivel topográfico y estación total. Equipo Topográfico con el siguiente detalle: 01 cuaderno topográfico, 01 estación total marca Leica, modelo TS06 PLUS: Con la medición de distancia electrónica PinPoint (EDM), TS06 plus ofrece un equilibrio perfecto en:

Alcance, precisión, fiabilidad, visibilidad del haz, tamaño del punto láser, y tiempo de medición.

01 cinta métrica de 50 metros: su uso fue empleado para la medición de espaciamiento entre discontinuidades.

- **Equipos de laboratorio.** Estufa de laboratorio pH-metro Marca Dffer Serie AHM2S y regla milimetrada, Maquina para someter a tensión y torsión, laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca.

3.5 Metodología

Método utilizado para la determinación de las propiedades físico-mecánicas Bioceldas elaboradas de *Schoenoplectus californicus (c.a. mey.) Soják* (la Tatora) y las Geoceldas HDPE.

3.5.1 Unidad de análisis, población, muestra

Unidad de análisis: Carretera Otuzco – Combayo (Km 01+650 – Km 01+700)

- **Población:** Talud de la carretera Otuzco – Combayo.
- **Muestra:** Área del talud dentro del tramo de la carretera ubicada entre Otuzco - Combayo (Km 01+650 - Km 01+700) Cajamarca, franja margen derecha de la vía. Se instaló 50 m² de bioceldas y 50 m² de geoceldas. Y cada espacio va a hacer delimitadas en (04) cuatro partes iguales para obtención de datos.

3.5.2 Diseño metodológico

3.5.2.1 Tipo de investigación. La investigación es de tipo descriptivo, experimental transeccional orientado a buscar las propiedades físico-mecánicas, porcentaje de cobertura y la eficiencia de los productos en estudio.

3.5.2.2 Diseño de la Investigación. El diseño de la investigación es cuantitativo, comparativo donde se describe la eficiencia de la biodegradación de las Bioceldas en comparación con la Geoceldas HDPE; Así como el porcentaje de revegetación que puede resultar de ello, la identificación de microorganismos producto de la biodegradación y cantidad de nutrientes identificados en el talud.

3.5.2.3 Diseño estadístico. Se utilizó la estadística descriptiva mediante dos variables independientes con muestras diferentes, donde la correlación lineal simple estudia dos variables cuantitativas y es una técnica estadística que se encarga de conocer si dos variables tienen relación entre sí; conocer el grado de relación (fuerte, moderada o débil); y determinar qué dirección tiene la relación para los siguientes sub variables: Elongación a la fluencia (alargamiento), Tiempo de deshidratación, Resistencia al rasgado (plegado), Torsión, Porcentaje de retención de agua, Cálculo del porcentaje de humedad retenido, Cálculo del porcentaje de humedad en el suelo con Bioceldas y Geoceldas HDPE, Determinar el tiempo biodegradación de las Bioceldas y las Geoceldas HDPE, Identificación del porcentaje microorganismo sobre la biodegradación de las Bioceldas y las Geoceldas HDPE, Identificación de posibles nutrientes producto de la biodegradación de las Bioceldas y las Geoceldas HDPE como el Nitrógeno, Fósforo y Potasio (N, P y K), Determinación del porcentaje de densidad y/o revegetación por metro cuadrado de Bioceldas y Geocelda HDPE, y por último la verificación en situ los valores de pH del suelo como parte del monitoreo para

ver su reacción con el suelo (ácido ó alcalino). Donde se aplicará cuadros estadísticos para ver el comportamiento y la discusión de estos.

3.5.3. Técnicas y procesamiento y análisis de datos

3.5.3.1 Fase de campo. Se fijaron dos estaciones de muestreo en el talud de la carretera Otuzco – Combayo. Entre la progresiva Km 01+650 y Km 01+700; en un área total de 100 m² cada una de 50m² de área. Se tomaron los indicadores como: biológicos, físico mecánicos y químicos de los componentes en acción. Además, se tomaron registros de los parámetros físico-mecánicos, químicos y biológicos de las Bioceldas y Geoceldas HDPE de donde se extrajeron muestras iniciales (M1B y M2G) de suelo en acción con los productos mencionados. También se hizo el monitoreo de la cobertura vegetal/m²/mes en cada área de trabajo. Los muestreos iniciales se hicieron en el mes de enero 2022 (antes de la instalación los componentes), el segundo análisis de muestreo en el mes de mayo y por último un muestreo en el mes de setiembre del año 2022.

3.5.3.2 Fase de laboratorio. En esta fase, las muestras de suelo y fueron de dos (2.0) kilos fueron enviadas laboratorio SGS Perú y Anoba siguiendo los protocolos de recojo de muestras, codificadas donde se analizaron e identificaron los microorganismos y nutrientes: N, P y K. además, se analizó el monitoreo de la biometría de la densidad vegetativa por mes en ambas muestras representativas.

3.5.4 Determinación de las características físico – químicas del suelo.

Se determinaron las características fisicoquímicas del suelo que se citan a continuación. La textura del suelo fue determinada por el método del hidrómetro de Boyoucos (1972), para la fracción menor de 2 mm, puesto que dicha fracción gobierna la química de la solución del suelo, incluso si sólo representa un porcentaje de 21 a 35% del

peso. Roberts et al. (1988). El pH y la conductividad eléctrica fueron medidos en proporción suelo-agua 1:2 y 1:5 respectivamente (IGAC, 2008) con un pH-metro (Orion Scientific Waltham, MA) y un conductivímetro 720 WTW.

Carbono orgánico del suelo (COS) fue determinado por el método de oxidación húmeda con dicromato potásico conocido como método Walkley-Black (Mingorance et al., 2007), cuantificado con espectrofotómetro UV/Vis Janway 6405 a 590 nm. Las bases intercambiables (sodio, potasio, calcio y magnesio) fueron determinadas por extracción de acetato de amonio 1 M a pH 7.0 (Soil Survey Laboratory Staff, 1992), y cuantificadas por espectrofotometría de absorción atómica (EAA), con equipo GBC 932 Plus. El nitrógeno se valoró por el método de Kjeldhal con el sistema destilador BUCHI 19449 -K-355, scrubber BUCHI 19440 -B-414 y digestor BUCHI 19450 -K-424. Los sulfatos se midieron, por el método turbidimétrico del cloruro de bario ($BaCl_2$), utilizando para cuantificar 0.5 N de NH_4Cl (IGAC, 2008) y lectura en espectrofotómetro a 440 nm. El fósforo (P) disponible mediante extracción con $HCl+NH_4F$ (Bray II) y ácido ascórbico con espectrofotómetro a 800 nm (ICONTEC, 2018).

3.5.6 Determinación de propiedades físicas.

Se lleva a cabo en el laboratorio de Resistencia de Materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca (UNC).

3.5.6.1 Contenido de Humedad. Para la evaluación de esta propiedad, se debe utilizar la Norma TAPPI T412 om-94. El procedimiento consiste en calcular el contenido de humedad de la probeta, a partir de la pérdida de peso que ocurre cuando se elimina el agua contenida en la superficie y el interior. Se prepararon muestras de aproximadamente 5 cm de largo de cada estípote, que fueron secadas en estufa a temperatura controlada de $103\pm 2^\circ C$ hasta

obtener un peso constante. Conocidas las masas de la muestra antes del secado, W1, y después del secado, W2, se calcula el contenido de humedad en unidades porcentuales, mediante la siguiente fórmula:

$$\%M = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100$$

Dónde:

%M= Contenido de humedad porcentual

W1 = peso inicial de la muestra, g

W2 = peso anhidro de la muestra, g

3.5.6.2 Densidad lineal (Dennier). De acuerdo con la norma TAPPI T411.

- Se tomará una muestra de junco fibroso por cada estípote a ensayar, determinando la longitud media (L) de cada una, con un winche.
- Luego se determina el número de fibras (Nf) que conforman el tercio fibroso, con la presunción de que el área transversal del haz (AT) es una circunferencia, al igual que el área transversal de una fibra (af), conociendo el diámetro de una fibra individual.

$$Nf = \frac{AT}{af}$$

- En una balanza analítica se toma el peso seco (mf) del haz fibroso. Finalmente, el valor de densidad lineal (DL) se utiliza la fórmula:

$$DL = \frac{mf}{Nf \times L} \times 100$$

- Y para el valor de denier de la fibra de junco:

$$\text{Denier} = 9000 \times DL$$

3.5.7 Determinación de propiedades mecánicas de las Bioceldas

Para la preparación del material a ensayar, cada elemento desfibrado es dimensionado (longitudinal y transversal) dependiendo del ensayo a realizar y el espesor final se obtiene con el uso de una desfibradora manual.

Los ejemplares seleccionados son acondicionados a una temperatura mínima de 21° y humedad de 65 %, por un período de 24 horas, previo a la ejecución del ensayo. Conforme a lo establecido por la norma TAPPI T402 de Acondicionamiento Standard.

Las pruebas mecánicas se realizan en condición saturada y condición seca a temperatura ambiente.

3.5.7.1 Torsión

Para este ensayo se va a trabajar con la norma NTE INEN 0140: Ensayo de torsión simple para alambres y otros. Consiste en torcer probetas de fibra de desde 20 mm de espesor y 2.50 m de longitud alrededor de su propio eje longitudinal hasta que estas se rompan. La torsión se efectúa en el mismo sentido durante todo el ensayo.

Sobre dos ejes paralelos de metal se sujetó la probeta con dos mordazas de tal forma que uno de los extremos se hacía rotar alrededor del eje longitudinal de la probeta con ayuda de un ratchet, mientras que la otra permanecía fija a una balanza romana mayor a: 12 kg.

Para el cálculo de la resistencia máxima a la torsión (momento torsor), se usa la siguiente ecuación:

$$S = F \times d$$

Donde:

S: Momento torsor (kg*m)

F: Carga máxima hasta la ruptura (kp)

d: Distancia entre puntos de sujeción (m)

3.5.7.2 Alargamiento: La elongación a la ruptura con los ensayos de tensión (Adaptación de la Norma TAPPI T494 om-96).se expresa como un porcentaje de su longitud inicial. Para calcular el porcentaje de elongación, se dividió el alargamiento total producido entre la longitud de ensayo inicial.

$$\%AL = \left(\frac{L_f}{L_0}\right) \times 100$$

Donde:

%AL = Porcentaje de alargamiento o elongación

L_f = Longitud de alargamiento total en la probeta al final del ensayo (mm)

L₀ = Longitud de ensayo inicial (Luz = 150 mm)

3.5.7.3 Ensayo de tensión: Con los valores obtenidos se calculó la resistencia a la tracción dividiendo la carga máxima de tensión entre el área transversal de la probeta:

$$E_{\text{máx}} = \frac{F_{\text{máx}}}{A}$$

Dónde:

E_{máx} = Esfuerzo máximo de tensión (kg/cm²)

F_{máx} = Carga máxima (kg)

A = Área de la sección transversal de la probeta (cm²)

3.5.7.4 Probetas de tejido mixto a tensión. En una cartulina se realiza un rectángulo de 100 mm de ancho y 150 mm de altura, esto sirve como guía para realizar el tejido y evitar exceder estos valores. Se fabrican las probetas presionando fuertemente cada entrecruzamiento con una roca, obteniendo así el menor espesor posible, se efectúa un remate en los bordes con la finalidad de fijar todo el tejido al momento de ejecutar las pruebas. Al ser un tejido artesanal y poseer un remate, se obtienen probetas uniformes de 70 mm de ancho y 120 mm de altura con un espesor de 0.34 mm.

3.5.7.5 Textura de tejido simple con torsión (TST). Se caracteriza por estar cada urdimbre entrelazado con la trama de manera intercalada, presentando la urdimbre intercalada una torsión.

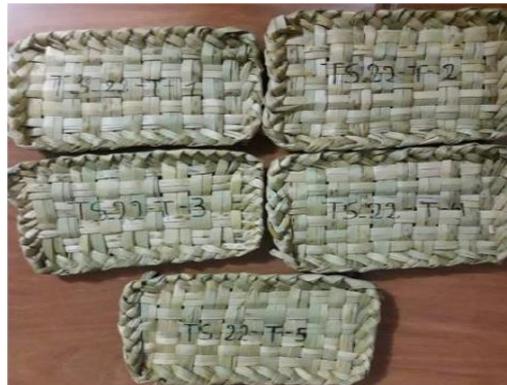
Figura 15

Probeta de tejido con remate simple con torsión a tensión.



Figura 16

Probetas codificadas (MS-22).



3.5.7.6 Probetas de tejido mixto a compresión. Se corta un tubo de diámetro 25.4 y 150 mm de largo que sirve de base para la construcción de la probeta, se realiza previamente una torsión y presión a cada totora antes de realizar el tejido para obtener el menor espesor, se efectúa el remate en los extremos asegurando el tejido. Obteniendo finalmente una probeta de medida efectiva de 120 mm de alto, 52.3 cm de diámetro exterior y espesor de 0.75 mm.

Figura 17

Probetas codificadas de junco de Totorá tejido.



3.5.7. Determinación de propiedades físico y mecánicas de las Geoceldas HDPE

Para determinar las propiedades físico – mecánicas de las Geoceldas HDPE, será tendrá cuenta las Especificaciones técnicas del producto (lo que menciona el fabricante), entre ellos los siguientes datos: Medidas, materiales, propiedades, aplicaciones y esfuerzos.

3.5.7.1 Ensayos mecánicos. La determinación de la tensión se realiza en la máquina de ensayo universal de la marca James Heal modelo Titan 5 de 5000 N, basada en la norma ISO 13934-2: 2019.

3.5.7.2 Prueba en función a la Norma ASTM D4761 – 02a. La norma ASTM D4761-02a son los métodos de prueba estándar para las propiedades mecánicas de madera y material estructural a base de madera. Estos métodos de prueba proporcionan procedimientos que son aplicables en condiciones reales de campo y permite desarrollar propiedades de resistencia y rigidez para la muestra representada por el material que se está probando. Pruebas de tensión: Este método de prueba proporciona procedimientos para la determinación de la resistencia a la tensión sometiendo a la probeta a una carga de tracción axial aplicada cerca de sus extremos. Pruebas de compresión: Este método de prueba proporciona procedimientos para la determinación de la resistencia a la compresión sometiendo a muestra a una carga de compresión axial aplicada en sus extremos.

3.5.7.3 Norma ISO 13934-2. ISO 13934-2: 2021 especifica un procedimiento para la determinación de la fuerza máxima de las telas textiles conocida como prueba de agarre. El método es aplicable principalmente a tejidos textiles tejidos, incluidos tejidos que presentan características de estiramiento impartidas por la presencia de una fibra elastomérica y un tratamiento mecánico o químico.

El método especifica la determinación de la fuerza máxima de las muestras de prueba en equilibrio con la atmósfera estándar para la prueba y de las muestras de prueba en estado húmedo.

3.5.8 Cálculo de la cobertura vegetal

Por el método de Daubenmire – Canopeo, para ello se presentaron cuatro (04) fotografías tomadas al azar desde una misma altura perpendicular al suelo, cuatro de plantas herbáceas mirando desde arriba, mientras que las otras son de plantas observados a nivel horizontal.

Para facilitar la respuesta de estas preguntas, cada una de las fotografías será dividida en 16 secciones cuadradas de igual área, así cada cuadrado representará el 6.25% de la superficie total. Para cada cuadrante se aproximará un porcentaje de cobertura según cada especie diferenciada.

El porcentaje de cobertura de cada especie estará dado por:

$$\sum (x_i \times 0.25\%)$$

Donde:

x_i , representa el porcentaje estimado de lo que cubre una especie vegetal en un determinado cuadrante.

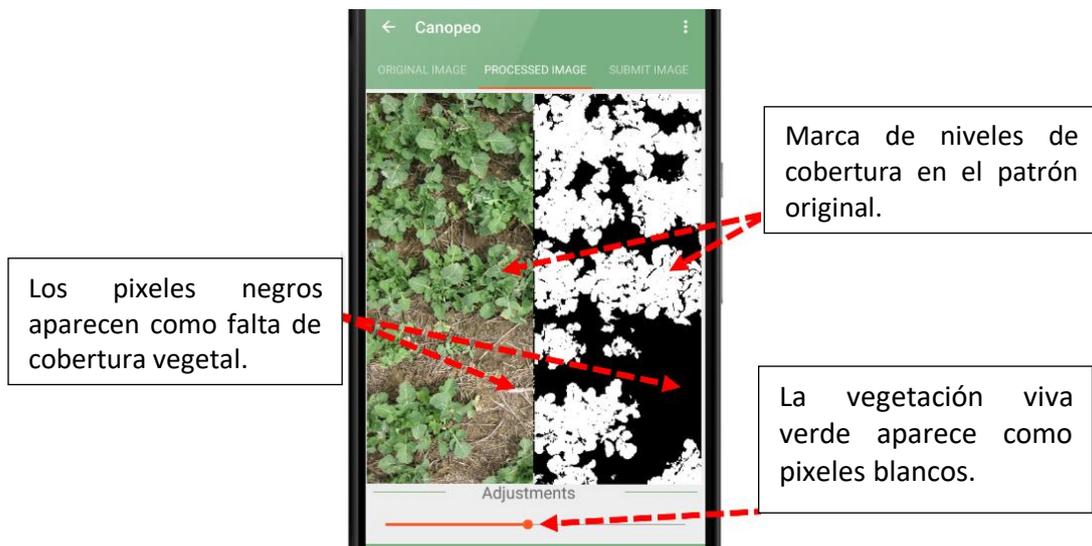
El porcentaje de la cobertura total de la foto, por cualquier planta, será la suma de los porcentajes de cada especie. Haciendo una sumatoria total para obtener el resultado en porcentaje. Este monitoreo debe hacerse trimestralmente en los puntos de muestreo.

Utilizando el software Canopeo, herramienta cuantitativa que realiza un mapeo preciso de píxeles sobre la cobertura vegetal en tiempo real para cuantificar el porcentaje de cobertura del dosel de la vegetación verde vivo por metro cuadrado de área, a partir de fotos

que miran hacia abajo tomadas con su dispositivo fotográfico. Proceso del software, esta herramienta tiene tres opciones: obtener fotografía, grabar vídeo o desde la galería. La toma de las imágenes debe hacerse a una distancia superior a 80 cm (depende de la altura de la vegetación), dispuesto de forma paralela al suelo (la fotografía que abre este artículo muestra la metodología correcta). Una vez tomada la imagen, el software muestra el resultado de manera inmediata. La función fotograma presenta la imagen original y la imagen procesada, donde la cobertura vegetal se representa mediante píxeles blancos. La posibilidad de visualizar ambas imágenes permite compararlas, pudiendo ajustar la precisión mediante un deslizador localizado en la parte inferior de la pantalla.

Figura 18

Proceso fotogramétrico mediante pixelado de la cobertura vegetal.



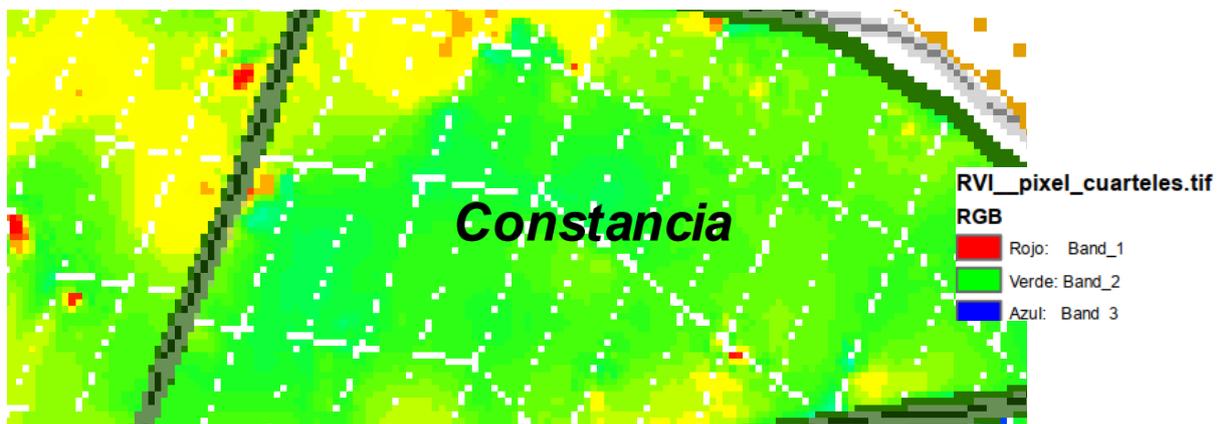
Fuente: Canopeo (2019, 19 de noviembre) *Android 4.1*, <https://canopeoapp.com/#/login>

3.5.9 Procedimiento fotogramétrico mediante pixelado de la cobertura vegetal.

Es necesario seguir el procedimiento para la toma imágenes con el software Canopeo que permite medir el porcentaje de cobertura de la vegetación en vivo para cualquier cultivo agrícola, césped o pradera, basándose en fotos satelitales o tomadas desde una cierta altitud hacia abajo con tu dispositivo.

Para la toma fotográfica; Cuando las parcelas son menores a 500.00 m², se usarán dispositivos de frecuencia media para poder captar las áreas vegetativas, este procedimiento ayuda a tener precisión de los cultivos y el modular colorométrico pueda captar e identificar los colores que derivan del color verde clorofílico y/o acercarse al color de los vegetales.

El compuesto del software permite que el pixel de los cuartiles RGB de color verde según el dónde existe vegetación lo identifique como tal. Pero hay plantas de otro color (bandas) como el amarillo, verde amarela, moradas y naranja que modular no identifica. Es necesario que estas imágenes sean tomadas con cámara fotográfica con lente 4K ultra profesional mayor a 60 MP (megapíxeles) con mayor densidad y expansión. Las imágenes tomadas como sub áreas serán procesadas con un identiqui haciendo un comparativo entre la imagen en físico y el resultado fotogramétrico del software Canopeo, para asegurarse que todos los cultivos hayan sido identificados y retratado según el pixelado y color.



Si las áreas vegetativas superan los 500.00 m², y las extensiones de los cultivos superan la magnitud del lente de la cámara fotográfica, se tiene que utilizar el dron con GPS con precisión a 0.001 mm y 0.5 segundos.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Propiedades físico – mecánicas de las Bioceldas y las Geoceldas HDPE

A continuación, se presenta los resultados de análisis de laboratorio de resistencia de materiales. Se ha dispuesto de análisis de tensión y tracción para las Bioceldas *Schoenoplectus californicus (c.a. mey.) soják* (la Totorá) y las Geoceldas HDPE según catálogo de productos de Pavco Wavi Perú.

Tabla 12

Ensayo de Tensión Analítico 1 de índice a las Bioceldas.

Ensayo en Marcha 01	
Variable	Valor
Tensión Max (KN/ mm ²)	0.0047
Carga Max (KN)	0.0820
Deformación a la rotura (mm/mm)	Presenta Rotura
Modulo (KN/mm ²)	0.560
Área constante (mm ²)	3.126

El ensayo realizado a las Bioceldas en el laboratorio confirma los resultados como la tensión, carga máxima, deformación y otros que ayudaron hacer un análisis a las propiedades físico-mecánicas del material en estudio. Donde la tensión máxima (KN/mm²) llegó a un valor de 0.0047, lo que indica que ese valor máximo en un material flexible cuante este contiene agua en su bioestructura.

Figura 19

Prueba de Tensión máxima a las Bioceldas.



Tensión máxima (KN/mm^2) en los extremos de la probeta, llegando al valor de: 0.0047, lo que indica que ese valor máximo en un material flexible cuando éste contiene agua en su bioestructura.

Figura 20

Geocelda HDPE en la maquina Tensiómetro Electric Basic LTM-021.



En la imagen se evidencia la tensiometría aplicando una carga constante en KN y midiendo la extensión en milímetros (mm), provocando una deformación constante en los extremos de la Geoceldas HDPE.

Figura 21

Deformación a la tracción sometida a la Geocelda HDPE después de aplicada la carga en la maquina MTC's.



La imagen muestra la deforme de la Geocelda HDPE convencional sin llegar a la rotura, este resultado de ensayo a la tensión y tracción. Este sintético por su naturaleza es de alta densidad, evitando así su degradación física.

Tabla 13

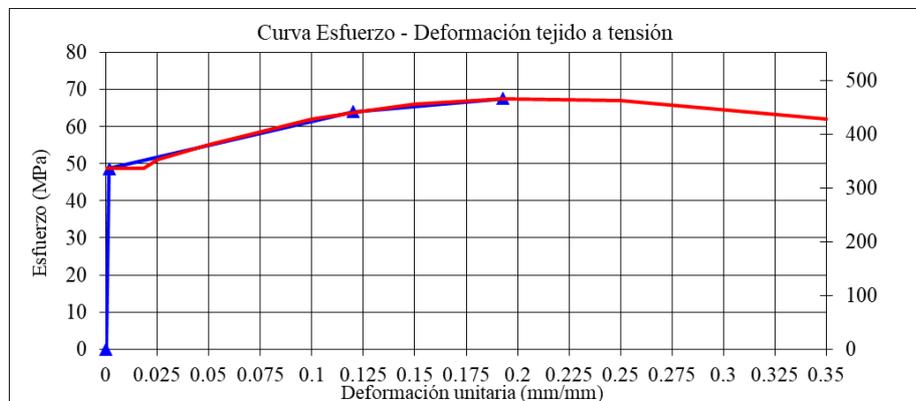
Propiedades mecánicas y físicas de las Geoceldas HDPE de alta densidad según la norma ISO's y ASTM-D del catálogo Wavin Perú

FICHA TÉCNICA		GEOCELDA
Propiedades	Unidad	Valor Típico
Dimensión de la celda.Medida (ancho x largo)	mm	245 x 210
Área Celda Nominal Expandida	cm ² (in ²)	273
Sección Nominal Expandida. (ancho x largo)	m	2.5 x 8.2
Área Sección Nominal Expandida	m ²	20.5
Altura de Panel de la Celda	mm	125+/-5%
Resistencia a la rotura ISO-13426-1 Part C	kN/M	19 valor mínimo
Resistencia de las soldaduras	Una junta soldada de 102 mm (4.0") resistiendo un peso de 72.5 kg (160 lbs) por 30 días mínimo, o una junta soldada de 102 mm (4.0") resistiendo un peso de 72.5 kg (160 lbs) por 7 días mínimo mientras está sujeta a cambios de temperatura desde 23° C (74° F) hasta 54° C (130° F) en un ciclo de una hora.	

En la tabla 13, las propiedades físicas y mecánicas menciona que hay una resistencia a la rotura de 19 KN/m. También Zheng et al. (2020, p. 116) refieren que los plásticos sintéticos y el polietileno, sus propiedades físicas como la alta resistencia mecánica y su composición química de enlaces de carbono hacen que su degradación pueda tardar entre 50 y 100 e incluso hasta 600 años.

Figura 22

Comportamiento de esfuerzo y deformación de la Bioceldas y las Geoceldas HDPE.



Geoceldas hdpe ————
Bioceldas ————

En la figura 21, tenemos la curva de esfuerzos y deformación de tejido a tensión de los materiales en estudio. La línea azul es el resultado de las Bioceldas, esto quiere decir que llegando al esfuerzo máximo de 67.2 MPa, se obtuvo una deformación unitaria de 0.183 mm; mientras que la línea roja pertenece a las Geoceldas HDPE teniendo un esfuerzo máximo de 69.4 MPa, se tuvo una deformación mayor 0.35 mm. Cabe mencionar, que el análisis de esfuerzo máximo para las Bioceldas, se hizo cuando el material se encontraba humedecido (curtido), con la finalidad de que alcance su mayor esfuerzo a la rotura y deformación.

Tabla 14

Propiedades físicas de las Bioceldas, Schoenoplectus californicus (c.a. mey.) soják.

Empleados en la investigación.

Propiedades Físicas	
Densidad	Un grupo de totora atada con presión mediana, de manera que no altere su volumen pero mantenga estable el conjunto, tiene un peso de 180 kg/m ³
Absorción	La totora sin presión, al estar saturada de agua (24 horas sumergida) aumenta en promedio cuatro veces su peso seco inicial.
Velocidad de Absorción	La velocidad inicial de absorción, tomada en los primeros 20 minutos de inmersión, es de 7% de aumento de su peso/minuto, y la velocidad de absorción general, hasta su estado de saturación, es de 0.3%/minuto.
Velocidad de pérdida de humedad	La velocidad inicial de pérdida de peso al secarse, tomada en los primeros 20 minutos, es de 0.3% de pérdida de su peso/minuto, y la velocidad de secado general hasta su estado seco original, es de 0.13%/minuto

Tabla 15

Propiedades mecánicas de las Bioceldas, Schoenoplectus californicus (c.a. mey.) soják.

Propiedades Mecánicas	
Tensión	A partir de probetas y ensayos se obtiene un esfuerzo de 88,501 MPa y una deformación al esfuerzo de 0,05132 (mm/mm). Equivalente a: 38kg/cm ²
Compresión	Un tallo de totora aislado, resiste alrededor de 15kg/cm ² . La resistencia a la compresión aumenta si se trabaja con grupos de tallos de totora juntos y aumentará aún más si este grupo es sujetado con presión para conseguir un volumen compacto, pudiendo llegar hasta 40 kg/cm ²

Tabla 16

Resumen de las Propiedades mecánicas de las Bioceldas, Schoenoplectus californicus (c.a. mey.) soják.

Propiedades	Bioceldas	Geoceldas HDPE
Composición	Matéria seca (22.35%).	Sintético de polietileno de alta densidad
	Proteínas 19.91%	Polipropileno 92%
	Fibra cruda 13.56%	Poliéster 5%
	Cenizas 25.19%	Polietileno 2%
	Grasas 1.05%	Poliamida (nylon) 1%
Sistema	Celular tridimensional	Celular tridimensional
Modelo tejido	Mixto, panal de abeja - agujerado	Panal de abeja agujerado
Sistema de drenaje (%)	82	50
Espesor de la lámina (mm)	3.55	2.45
Ancho (m)	0.14	0.15
Largo (m)	2.10	1.00
Color	marrón natural	gris
Peso específico (kg/m ²)	0.645	1.600
Abertura de la celda (mm)	318 x 290	320 x 287
Peso del panel (k/ m ²)	0.321	1.82
pH del material	6.17	No registra
Velocidad de Absorción a los 20 min de inmersión	7% de aumento de peso/min.	No registra
Tiempo de deshidratación (días)	3.25	0.06
Retención de agua (%)	85.8	0.25
Tensión (KN/m)	5.04	19
Resistencia al rasgado (KN/m)	2.13	12.7

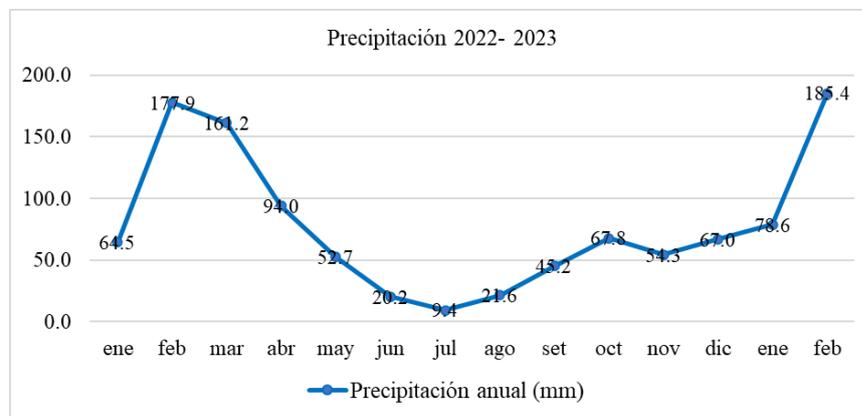
De la tabla 14, 15 y 16. La importancia de conocer las propiedades físicas y mecánicas de las *Schoenoplectus californicus (c.a. mey.) soják*. Constituyen un gran valor, adicional ya que este material sirve para producción de las Bioceldas, que se acondicionará a la forma del talud.

4.2 Porcentaje de humedad retenido en las Bioceldas y las Geoceldas HDPE

El factor climático como la precipitación es muy importante para la constitución de flora y la disponibilidad de agua en el subsuelo, así como la estructura del suelo son algunos factores que pueden interceptar con la dinámica de recuperación según (Geraldo, 2019). En la figura 22 y 23, se muestra los resultados de la precipitación en la zona de trabajo.

Figura 23

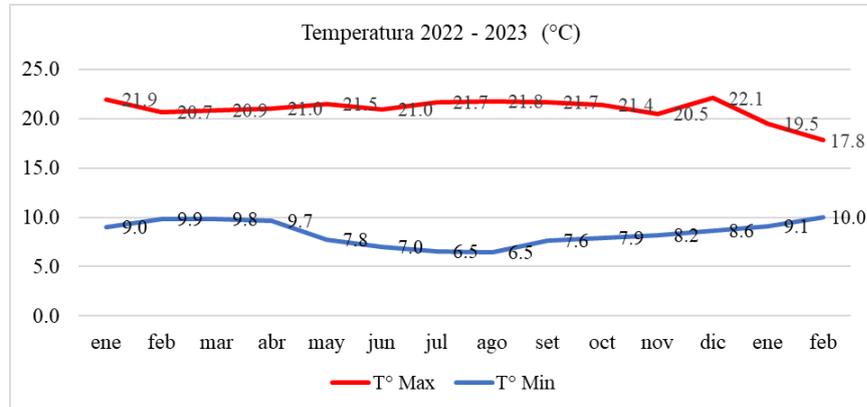
Precipitaciones registradas durante los meses enero 2022 – febrero 2023



En la figura 22 se muestra el comportamiento de las precipitaciones tomados de la estación Meteorológica Augusto Weberwauer desde enero 2022 – febrero 2023, donde se registra los picos máximos en temporada de invierno, esto ayudó tener áreas revegetadas y a la biodegradación de ambos componentes.

Figura 24

Temperaturas máxima y mínima, registradas para el lugar en estudio, durante los meses enero 2022 – febrero 2023.

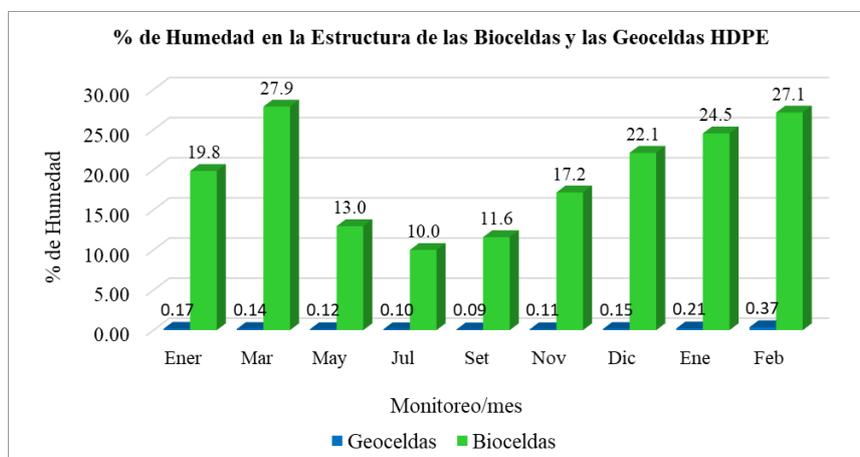


Fuente: Estación meteorológica Augusto Weberbauer. (2022-2023)

Las temperaturas máximas registradas el mes de diciembre, ayudó a que la materia orgánica sujeta a la degradación microbiana proviene de diferentes fuentes vegetales biodegraden a la celulosa, hemicelulosa y lignina.

Figura 25

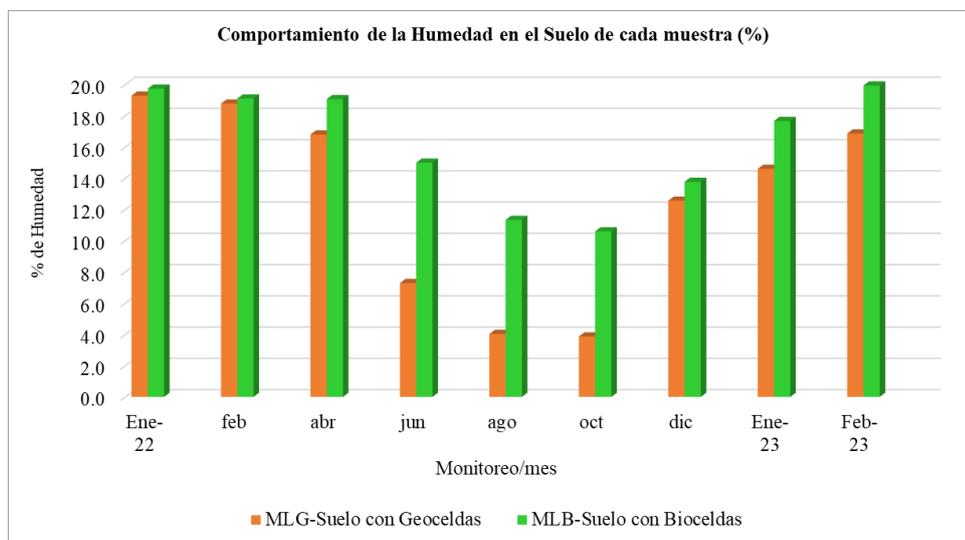
Comportamiento de la Humedad en la estructura de las Bioceldas y las Geoceldas HDPE.



Se ha registrado el porcentaje de humedad retenido en cada estructura de estudio, hay una gran diferencia entre los materiales. Por sus propiedades físicas, las Bioceldas ha llegado a retener más agua que las Geoceldas HDPE, esto ayudó a brindar una parte de humedad al suelo.

Figura 26

Comportamiento de la humedad en el talud, con Bioceldas y Geoceldas HDPE.



Se evidencia, que la mayor humedad aprovechable es el suelo con Bioceldas, esto debido al esponjamiento de la Totora la que mayor la retención de humedad atrajo en un 27.53% en comparación con la humedad del suelo donde se instaló las Geoceldas HDPE que tienen valores bajos. Este resultado es de gran importancia debido a que el agua constituye un factor determinante en la formación, conservación, fertilidad y productividad del mismo. Así como para la germinación, crecimiento (primario y secundario) y desarrollo de las plantas cultivadas.

La humedad retenida en las Bioceldas y las Geoceldas HDPE es producto de la conservación del agua dentro de la bio estructura y la geo estructura. Siendo valores más altos en las Bioceldas. Un sistema esponjado el que mayor retención de agua tiende en su interior,

a comparación con las Geoceldas HDPE que es polietileno no absorbente. Siendo las condiciones óptimas para la degradación de los mismo la relación de la temperatura, humedad y el pH según menciona (Jalawi & Saraf, 2021, p.89)

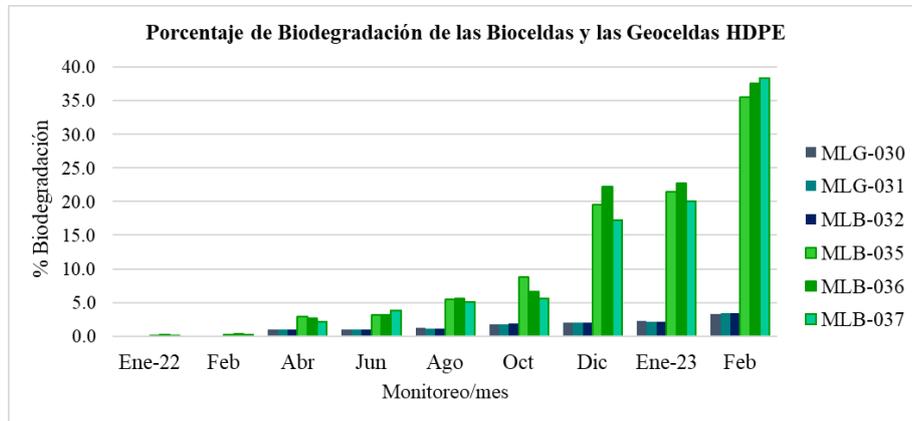
4.3 Tiempo de biodegradación de las Bioceldas y las Geoceldas HDPE

Al talud de estudio se aplicó un producto biodegradable (orgánico) para comprobar in situ la biodegradación, con el efecto climático y la acción de los microorganismos; La descomposición es un proceso complejo regulado por las interacciones entre los organismos (fauna y microorganismos), factores físicos medioambientales (principalmente temperatura y humedad) y la calidad del recurso orgánico (concentración de lignina, nitrógeno y polifenoles condensados y solubles). A medida que avanza la descomposición, los materiales solubles y particulados del litter, los tejidos de los organismos y los productos del metabolismo microbiano se separan de la fuente original mediante actividades de lixiviación, fragmentación física y alimentación animal. Posteriormente esos productos son transportados por el viento, el agua y la gravedad a microhábitats en el suelo que tienen condiciones diferentes que regulan la descomposición (Wesemael, B. 2023, p. 41).

Revisando los resultados en la figura 26 se observa el porcentaje de humedad elevado en el talud y la estructura que está cubierto con Bioceldas, por la misma naturaleza del bio producto.

Figura 27

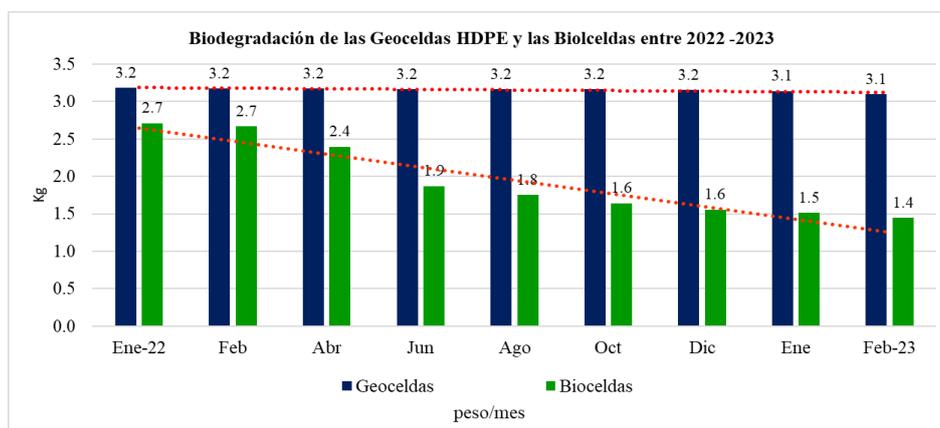
Monitoreo (tiempo) de biodegradación de las Bioceldas y las Geoceldas HDPE en el talud.



La acción microbiana producto de la descomposición de la materia orgánica entre enero 2022 a febrero 2023 de las Bioceldas se obtuvo resultados exitosos, como se muestra en la figura 26, a comparación con las Geoceldas HDPE, un producto que no se biodegrada a corto, ni mediano plazo.

Figura 28

Comportamiento de la biodegradación en peso de ambos productos instalados en el talud



En la biodegradación actúan microorganismos como: las bacterias *Gram positiva* aerobias que forman micelios ramificados, degradan los restos vegetales y animales, polímeros complejos e hidrocarburos y mantienen el suelo suelto y desmenuzado. Además, cuando se incorporan los restos orgánicos al suelo se produce una intensa actividad microbiana, debido a la abundancia de restos fácilmente atacables como menciona (M. Ccallao, 2020, p. 61)

En la figura 28 muestra el comportamiento de la biodegradación de los dos (02) materiales instalados en el talud durante los doce (12) meses de estudio, los datos de las Bioceldas se mueven desde 2.70 kg/m² en el mes de enero, hasta 1.41 kg/m² en el mes de febrero del 2023, hay un aumento en la biodegradación y pérdida de materia orgánica aumentando, esto fertiliza el suelo. Pero en el caso de las Geoceldas HDPE, la biodegradación no se denota, el monitoreo in situ empezó en el mes de enero con 3.2 kg/m² y se mantiene el peso casi constante hasta el mes de febrero con un valor de 3.10 kg/m². Los microorganismos no estarían actuando en la biodegradación por ser un material sintético, la actividad química microbiana es lenta.

4.4 Identificación de microorganismos que actúan en la biodegradación de las Bioceldas y las Geoceldas HDPE

Tabla 17

Microorganismos actuantes en la biodegradación de las Bioceldas y las Geoceldas HDPE.

Análisis Microbiológico		Inicio del proyecto		Cierre del Proyecto	
Microorganismos en el suelo de estudio	Unidad	T1-Geoceldas enero 2022	T2-Bioceldas enero 2022	T1-Geoceldas marzo 2023	T2-Bioceldas marzo 2023
CX Quistes de Protozoarios (N° Quistes/4gr)	N°Quistes/4g	0	0	0	0
CX Recuento de Mohos (UFC/g)	UFC/g	1.1	0.8	8.4	24
CX Recuento Bacterias totales (UFC/g)	UFC/g	110	105	167	650
CX Recuento de Levaduras (UFC/g)	UFC/g	128	131	210	1300

En la figura 29 se identificaron microorganismos que actúan en la biodegradación de las Bioceldas y las Geoceldas HDPE durante el periodo enero 2022 a enero 2023.

Figura 29

Presencia de Protozoarios y Mohos en las muestras con Bioceldas y Geoceldas.

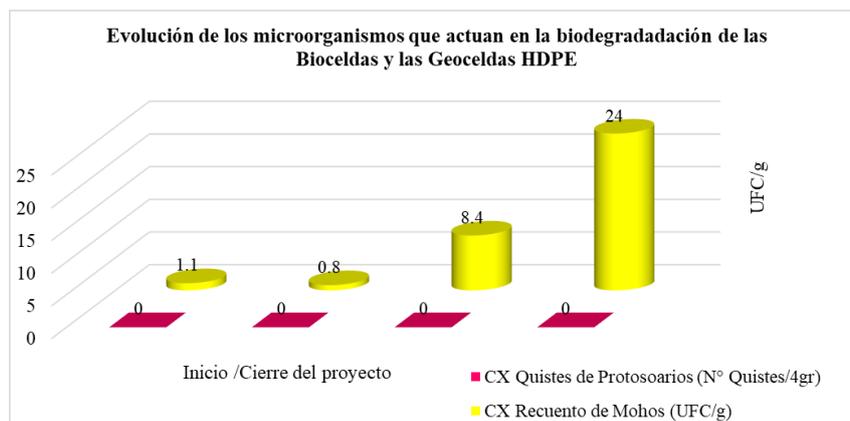


Figura 30

Evolución de las Bacterias Totales y Levaduras en las muestras con Bioceldas y Geoceldas

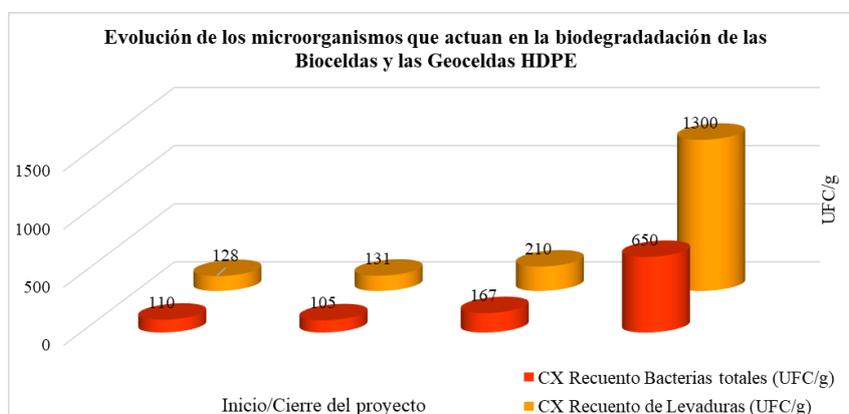


Tabla 18

Microorganismos específicos en la biodegradación de las Bioceldas.

Identificación de Microorganismos que actúan en la Biodegradación de las Bioceldas					
T2-Bioceldas marzo 2023					
Microorganismos en el suelo de estudio	Unidad	Cierre del Proyecto	Descripción del microorganismo	%	Barra
CX Recuento de Mohos (UFC/g)	UFC/g	24	<i>Phanerochaete chrysosporium</i>	48.2	48.2%
			<i>Basidiomicetos</i>	51.8	51.8%
			<i>Actinomicetos</i>	50.7	50.7%
CX Recuento Bacterias totales (UFC/g)	UFC/g	650	<i>Rhizobium</i>	27.1	27.1%
			<i>Bacterias Gram positivas</i>	12.4	12.4%
			<i>Cellulomonas</i>	6.4	6.4%
			<i>Arthrobacter</i>	3.4	3.4%
			<i>Penicillium</i>	5.48	5.5%

La presencia de materia orgánica, a través de un proceso de descomposición incorpora humus al suelo, fuente de nutrientes que va a permitir la aparición de bacterias, hongos y virus como lo menciona Chavarría (2020). Los organismos en el suelo, aún los más pequeños como los *Actinomicetos* (50.7%), *Basidiomicetos* (51.8%) y *Phanerochaete chrysosporium* (48.2%) quienes son los microorganismos con mayor porcentaje de Unidades Formadoras de Colonias (UFC/g) en la depuración de las Bioceldas transformando la materia en nutrientes básicos para las plantas.

De la tabla 18, se evidencia que el 50.7% de los *Actinomicetes*, *bacterias Gram positivas* aerobias que forman micelios ramificados, llegaron a degradar los restos vegetales; tal es el caso del suelo donde se instaló las Bioceldas, obteniendo valores muy altos por encima de los valores de los polímeros complejos (Geoceldas HDPE), donde las UFC/g fueron bajos como se muestran en las figuras 28 y 29.

La cantidad de hongos encontrados rompieron las moléculas de lignina que formaron las paredes de los vasos y las de celulosa de las Bioceldas que forman parte de las membranas celulares y eso dejó expuesto el material al ataque de las bacterias que se nutrirán principalmente de las proteínas y de los azúcares presentes en el material. Como recompensa las bacterias llegaron a liberar nitrógeno amoniacal (NH_4) y luego en forma nítrica (NO_3 o bien NO_2) para permitir que los hongos puedan nutrirse.

4.5 Concentraciones de N, P y K en los taludes donde se han instalado las Bioceldas y las Geoceldas HDPE.

Tabla 19

Resultados de análisis de suelo del talud en laboratorio SGS Perú

Número de muestras		CE		Análisis Mecánico			pH	M.O.
Lab.	Campo	Ds/m	Arena	Limo	Arcilla	Textura	Relación 1:1	%
SGS Perú	Suelo	Relación 1:1 0.63	% 64.12	% 18.08	% 17.8	Franco arcilloso	4.89	0.23

Los resultados de la tabla 19 son ensayos de laboratorio según LQA-SAG-172 Granulometría y clasificación Textural en suelos, Método Densímetro de Bouyoucos, clasificación de muestras de suelo intervenidos respectivamente según Sistema Unificado de Clasificación de los suelos SUCS.

Las arcillas intervienen directamente en la capacidad de intercambio catiónico, facilitando el intercambio de nutrientes entre el suelo y la planta. Al mismo tiempo las arcillas según su estructura permitieron tener una mayor superficie específica, la que contribuyó a la retención de humedad y evitó el lavado de nutrientes por parte de las aguas que se infiltraron en las capas del suelo y la estructura de las Bioceldas.

Figura 31

El pH del suelo al momento de colocar las muestras de Bioceldas y Geoceldas HDPE en el talud.

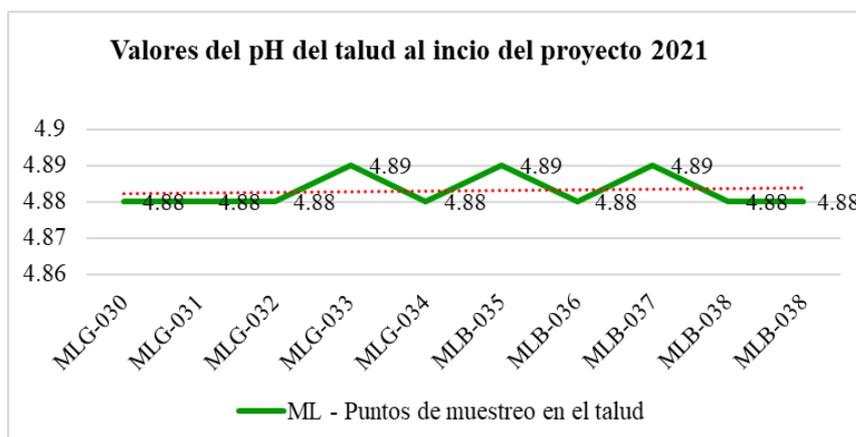


Tabla 20

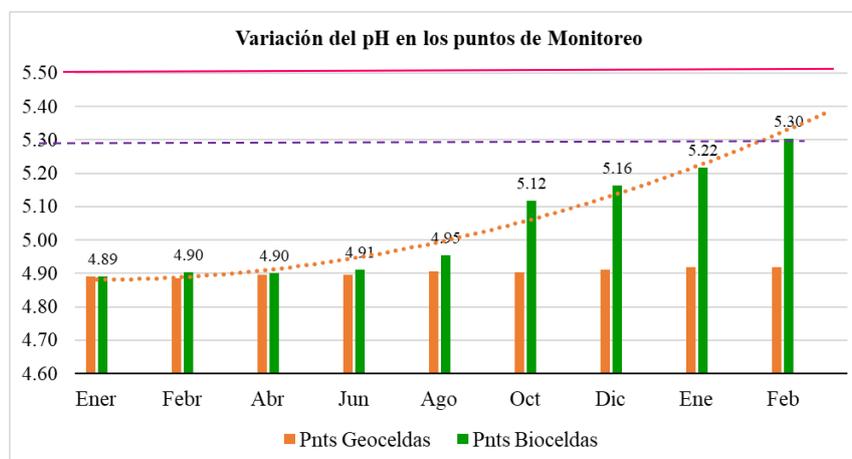
Monitoreo del pH en las muestras donde se instaló las Bioceldas y las Geoceldas HDPE

Muestras Geoceldas/Bioceldas	Puntos de monitoreo/mes	Variación del pH en los puntos de monitoreo									
		Ener	Febr	Abr	Jun	Ago	Oct	Dic	Ene	Feb	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
MLG	MLG-030	4.89	4.89	4.90	4.90	4.90	4.90	4.91	4.92	4.92	
	MLG-031	4.89	4.88	4.90	4.89	4.91	4.90	4.91	4.92	4.93	
	MLG-032	4.89	4.89	4.89	4.90	4.91	4.91	4.91	4.92	4.91	
Promedio		4.89	4.89	4.90	4.90	4.91	4.90	4.91	4.92	4.92	
MLB	MLB-035	4.89	4.91	4.90	4.92	4.94	5.11	5.17	5.23	5.31	
	MLB-036	4.89	4.90	4.90	4.91	4.96	5.12	5.17	5.21	5.30	
	MLB-037	4.89	4.90	4.90	4.90	4.96	5.12	5.15	5.21	5.30	
Promedio		4.89	4.90	4.90	4.91	4.95	5.12	5.16	5.22	5.30	

Los valores de pH registrados en las muestras durante los meses de investigación, de enero 2022 a febrero 2023 fueron constantes en el terreno con Geoceldas HDPE y en terreno con Bioceldas hubo un aumento progresivo de fuertemente ácido, a moderadamente ácido.

Figura 32

Variación del pH en los puntos de monitoreo donde se instaló las Bioceldas y las Geoceldas HDPE.



En la figura 31, se muestra el comportamiento del pH del suelo en los puntos de monitoreo en ambas muestras; tiene un aumento para el área donde se instaló las Bioceldas entre el mes de octubre 2022 a febrero 2023, con un pH constante para el suelo donde se instaló las Geoceldas HDPE.

De acuerdo con los valores de pH del suelo obtenidos en los muestreos de campo, se apreció que en promedio el pH en el área de estudio es de 5.4 con coeficiente de variación de 0.511. Los valores más bajo y alto fueron 4.89 y 5.4 (ligeramente ácido), respectivamente. Estos resultados coinciden de manera aproximada con los reportados por la Fundación Produce Jalisco (FPJ, 2020). Aproximadamente dos tercios de las muestras correspondieron a la condición ligeramente ácido, con valores de pH de 5.12 a 5.3 que se aproxima al pH

óptimo de los suelos agrícolas que varían entre 6.5 y 7.0 para obtener los mejores rendimientos y la mayor productividad.

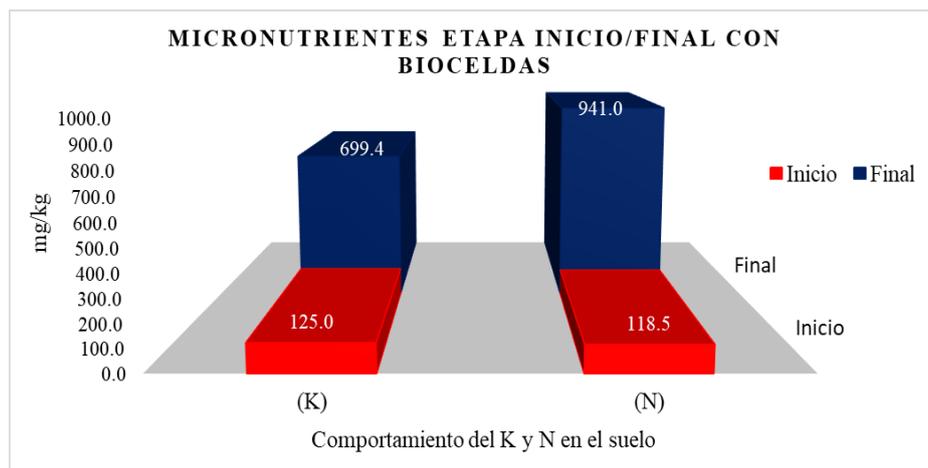
Tabla 21

Tendencia del N, P y K en los puntos de monitoreo del suelo en donde se instaló las Bioceldas.

Variación del Nitrógeno (N), Fosforo (P) y Potasio (K) con Bioceldas					
Muestras Geocelda/Bioceldas	Puntos de monitoreo/mes	Minerales/Mes	Ene-22	Ago	Ene-23
MLG	MLG-031	N	118.5	147.2	210.1
		P	5.7	5.9	6.7
		K	125.0	239.7	471.4
MLB	MLB-036	N	118.7	419.8	941.0
		P	5.7	11.3	18.9
		K	125.0	377.1	699.4

Figura 33

Comportamiento del Nitrógeno y el Potasio de enero 2022, hasta enero 2023 en el talud con Bioceldas.

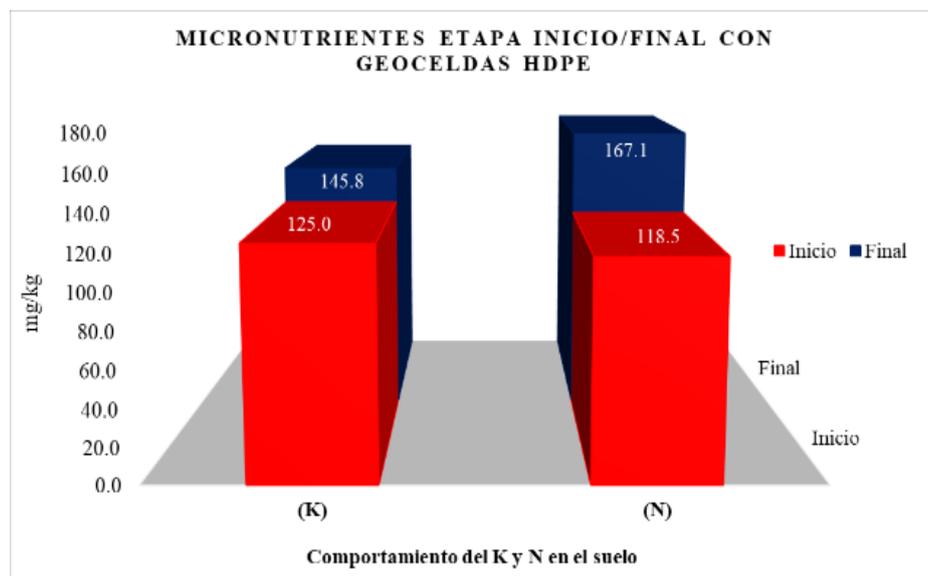


En la figura 33, los micronutrientes en el suelo, donde se instaló las Bioceldas se denota el aumento progresivo aumento de: 47.8% de Nitrógeno/mes y 68.5% de Potasio/mes. Mientras que en la figura 33 de los micronutrientes donde se instaló las Geoceldas HDPE, se

evidencia un resultado lento de 4.05% de Nitrógeno/mes y 1.73% de Potasio/mes; siendo muy pobre el aporte de los micronutrientes producto de la biodegradación de las Geoceldas HDPE como lo menciona.

Figura 34

Comportamiento del Nitrógeno y el Potasio de enero 2022, hasta enero 2023 en el talud con Geoceldas HDPE



M. Ccallao (2020), la degradación de polímeros por *Pseudomonas*, demuestra que las *Pseudomonas* tienen la capacidad de asimilar los plásticos, convirtiéndolos de polímeros a monómeros. Esta capacidad de asimilación de estos microorganismos se debe a la generación de enzimas que inician la ruptura de polímeros, sin embargo, estos microorganismos no solo poseen la capacidad de asimilación de los polímeros si no que se adaptan a diferentes medios y/o condiciones bióticas y abióticas con mayor facilidad que otras bacterias, pero a largo plazo que varían desde los 10 años hasta los 500 años.

La degradación de la Materia Orgánica estimula las cadenas tróficas en el suelo directas responsables del proceso de respiración. El producto, CO₂ y biomasa microbiana, así como compuestos minerales como NH₄, PO₄, SO₄, etc. En este proceso intervienen diferentes enzimas que pueden estar asociadas a células vivas de microorganismos, o bien en el suelo, liberadas por microorganismos vivos. Para su funcionamiento las enzimas requieren cofactores como P, K, Mg, Fe, entre otros, lo que reafirma que para un adecuado funcionamiento del suelo en agroecosistemas se debe trabajar de manera integrada, pues los efectos agronómicos de la degradación de la materia orgánica son múltiples, destacando el aumento de la porosidad y la capacidad de retención de agua, además del suministro de nutrientes.

En la figura 34 los micronutrientes en el suelo, donde se instaló las Bioceldas se muestra el aumento progresivo del Magnesio (Mn), Fosforo (P) y el Hierro (Fe). Mientras que en la figura 35, donde se instaló las Geoceldas HDPE se evidencia valores muy bajos de micronutrientes al cierre del proyecto producto de la biodegradación lenta de las Geoceldas.

Figura 35

Evolución de otros micronutrientes (B, Cu, Zn, Mn, Fe, P) en las muestras con Bioceldas

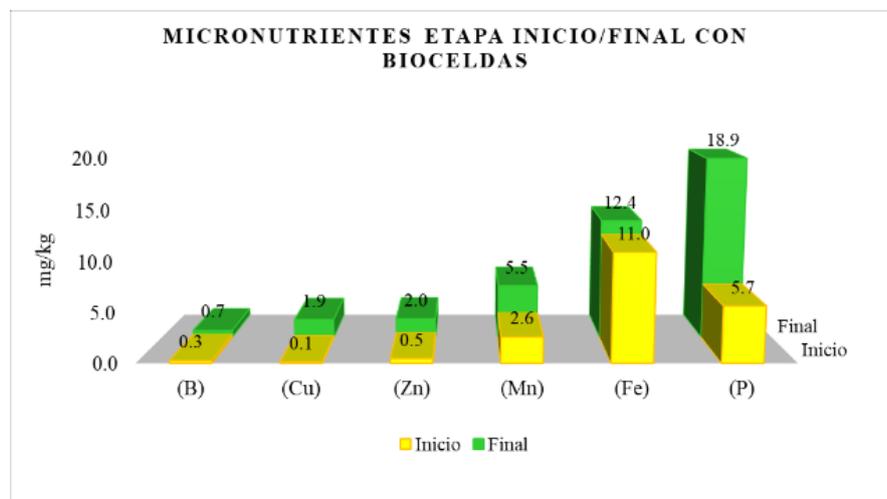


Figura 36

Evolución de otros micronutrientes (B, Cu, Zn, Mn, Fe, P) en las muestras con Geoceldas

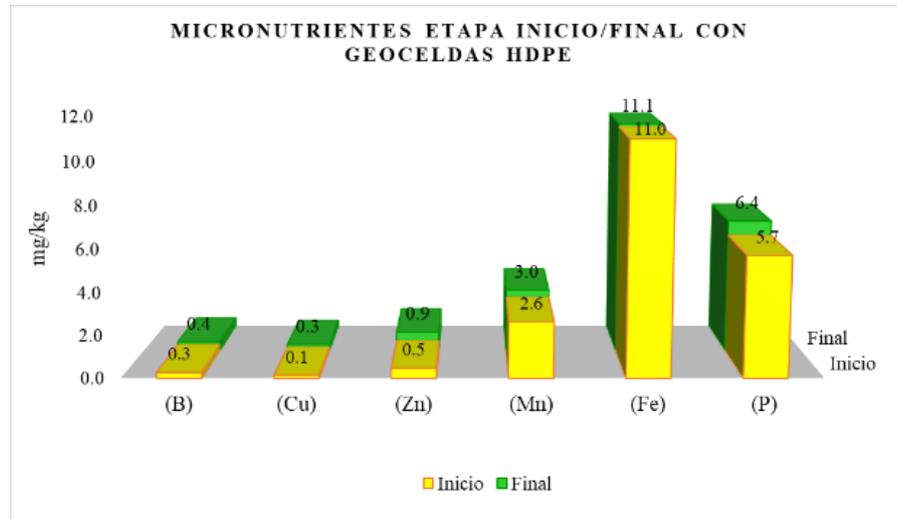


Figura 37

Evolución de la materia orgánica en las áreas de estudio con las Geoceldas HDPE y las Bioceldas desde enero 2022 hasta enero 2023.

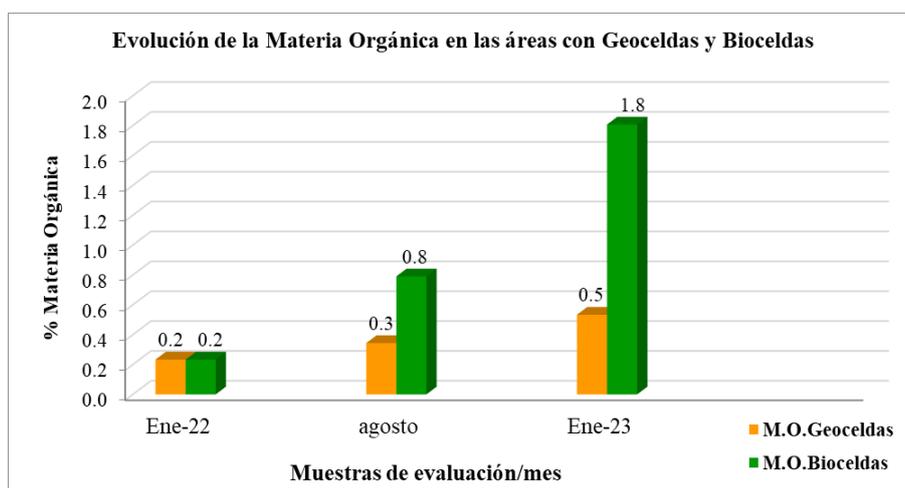


Figura 38

Evolución del pH y la relación Carbono/Nitrógeno en las áreas de estudio con las Bioceldas entre enero 2022 y enero 2023

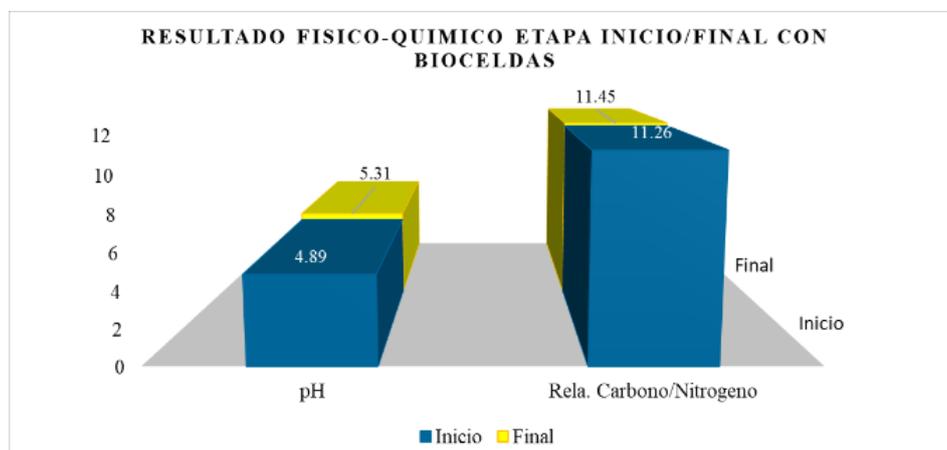
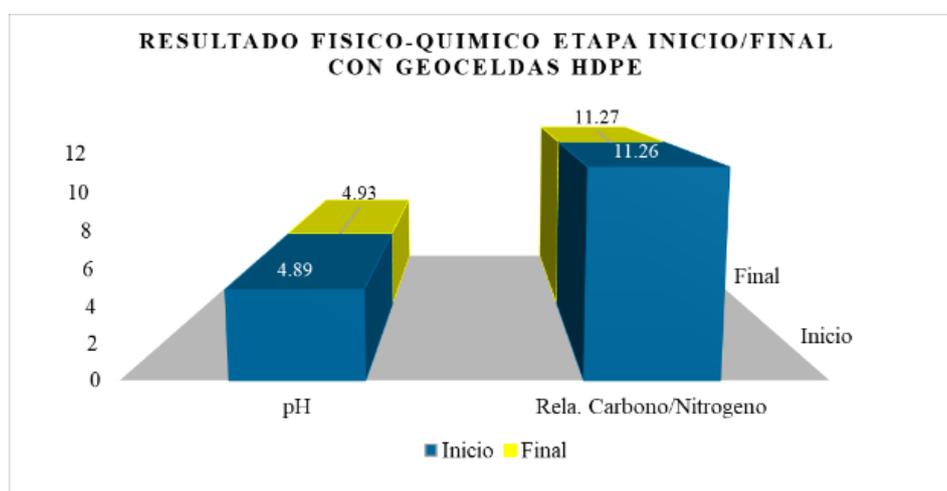


Figura 39

Evolución del pH y la relación Carbono/Nitrógeno en las áreas de estudio con las Geoceldas HDPE entre enero 2022 y enero 2023



En la figura 36 se muestran los valores de la materia orgánica tomados desde al inicio y al cierre de la investigación habiendo una variación prudente en el suelo cubierto de Bioceldas de 0.2 – 1.8% con una diferencia local de 1.6% y una variación lenta en el suelo cubierto con Geoceldas HDPE que va desde los 0.2 – 0.5% con una diferencia de 0.3%, ya

que la biodegradación del polietileno de alta densidad no produce materia suficiente para suelo rico en nutrientes. Pues la FAO (2019), menciona en su artículo que la disponibilidad de los nutrientes es fundamental para el desarrollo de los cultivos. El contenido de nutrientes del suelo depende del material original del suelo y su proceso de formación. Una disminución del 1% en el contenido de materia orgánica del horizonte superficial (0 – 20 cm) representa una pérdida de 1100 Kg de Nitrógeno y 110 Kg de Fosforo por hectárea. Por ende, en el proceso de biodegradación de las Bioceldas, éstas están entregando material orgánico al suelo en forma de nutrientes. Así como el pH que está en aumento de 4.89 – 5.31, con este valor se acerca a un suelo con condiciones agrícolas por ser un suelo moderadamente ácido apto para la agricultura y la reforestación.

El resultado de la relación Carbono – Nitrógeno (C/N) es 30, por lo que se considera muy buena ya que la actividad microbiana se volvió muy intensa al contener suficiente nitrógeno de los restos; al producirse compuesto orgánico. Esto contribuyó a acidificar el suelo alcalinos o básicos que requieran de esta enmienda.

4.6 Cobertura vegetal por metro cuadrado de Bioceldas y Geoceldas HDPE instalados

Se desarrollo el monitoreo de la cobertura vegetal, recogiendo 24 muestras: doce (12) puntos en el área con Bioceldas y doce (12) puntos en el área con las Geoceldas HDPE divididos por cuadrantes como se muestra en la tabla 21 y en la tabla 22.

Tabla 22

Monitoreo de la cobertura vegetal con Bioceldas de febrero 2022, a marzo 2023.

Por meses	Áreas	Área (m2)	Area Acumulada con Vegetación (m2)	% Unitario Vegetación	% Acumulado de Vegetación
1	1	1.3	1.3	6.2	6.2
	2	1.1	2.4	3.7	9.9
3	3	1.5	3.9	3.4	13.3
	4	1.4	5.3	3.9	17.3
6	5	1.5	6.7	8.3	25.5
	6	1.6	8.3	3.6	29.1
8	7	1.7	10.0	7.5	36.6
	8	1.4	11.4	3.6	40.2
10	9	1.7	13.1	9.4	49.5
	10	1.5	14.6	7.6	57.1
12	11	1.5	16.0	10.1	67.3
	12	1.6	17.6	5.6	72.9

Figura 40

Porcentaje unitario de la cobertura vegetal en el talud con Bioceldas para el mes de marzo 2023.

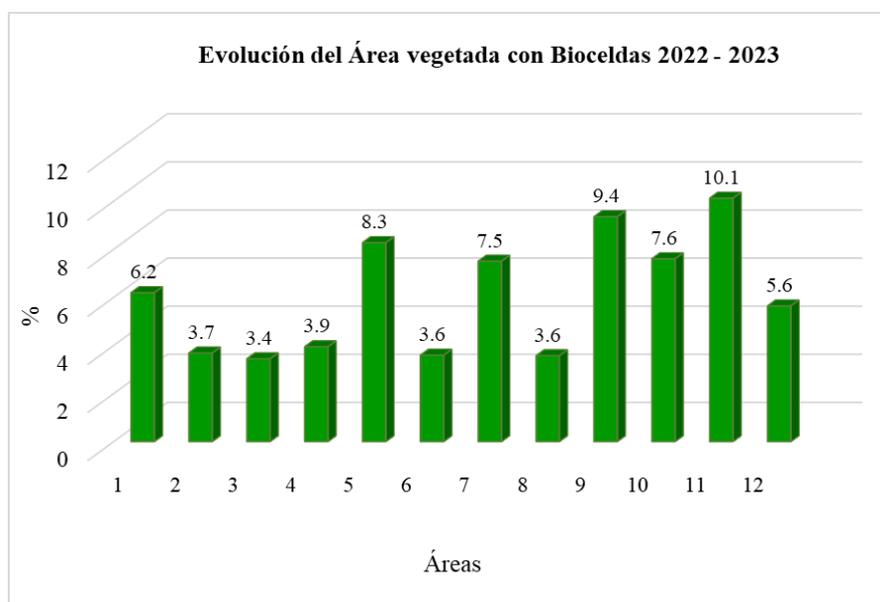


Figura 41

Porcentaje acumulado de la cobertura vegetal en el área del talud con Bioceldas al cierre del proyecto para el de marzo 2023

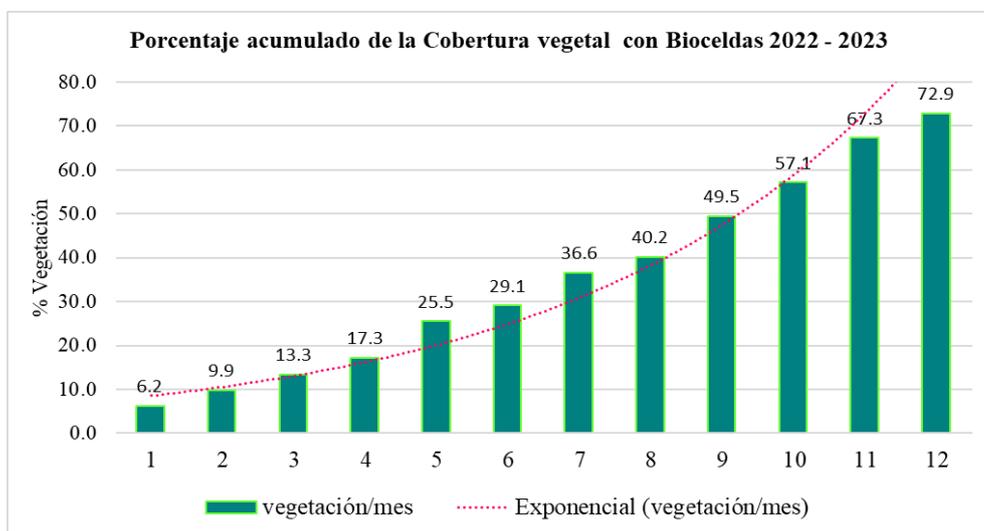


Tabla 23

Monitoreo de la cobertura vegetal con Geoceldas HDPE de febrero 2022 a marzo 2023

Por meses	Áreas	Área (m2)	Área Acumulada con Vegetación	% Unitario Revegetación	% Acumulado de Revegetación
1	1	1.3	1.3	1.8	1.8
	2	1.2	2.4	2.7	4.5
3	3	1.4	3.8	2.3	6.8
	4	1.5	5.3	2.4	9.1
6	5	1.2	6.4	2.4	11.6
	6	1.2	7.7	2.9	14.5
8	7	1.4	9.0	3.1	17.5
	8	1.4	10.4	7.0	24.5
10	9	1.5	12.0	5.3	29.8
	10	1.5	13.5	6.1	35.9
12	11	1.4	14.9	7.6	43.5
	12	1.4	16.3	7.4	50.9

Figura 42

Porcentaje unitario de cobertura vegetal en el talud con Geoceldas HDPE, mes de marzo 2023

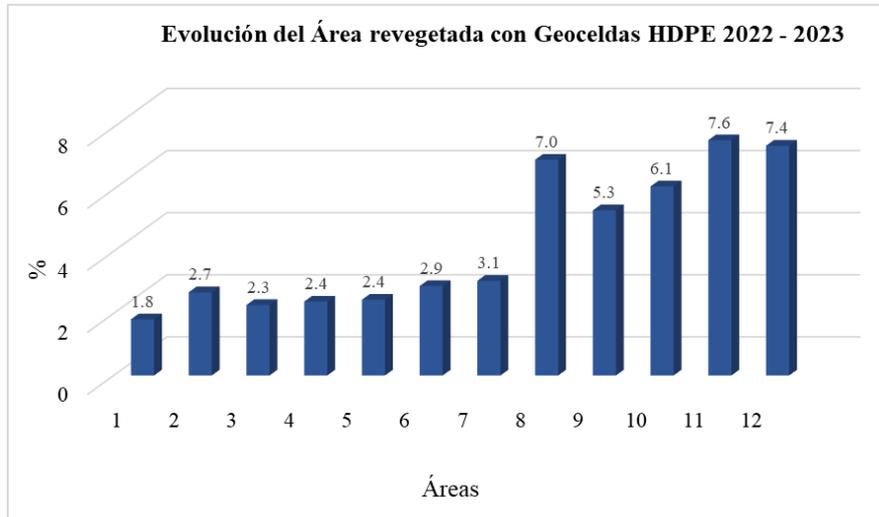


Figura 43

Porcentaje acumulado de la cobertura vegetal en el área del talud con Geoceldas HDPE al cierre del proyecto para el mes de marzo 2023

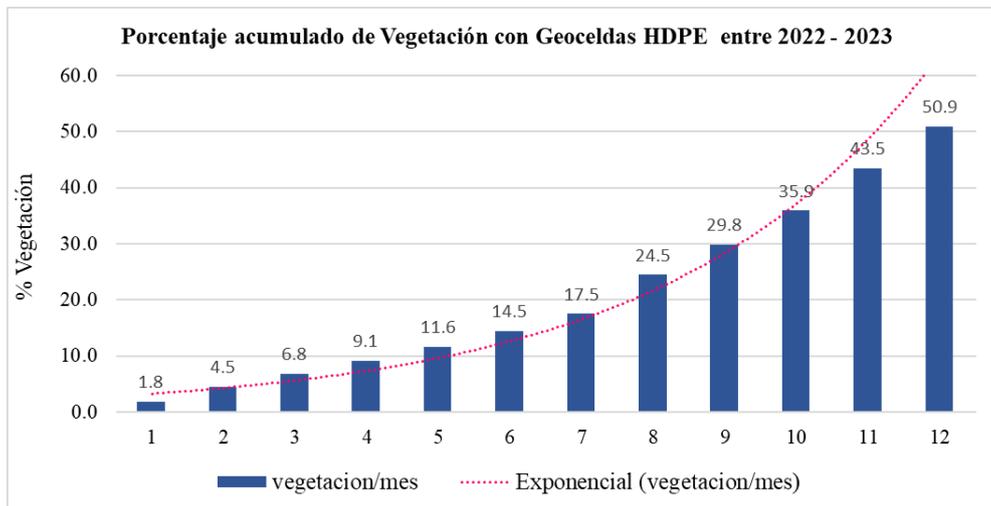
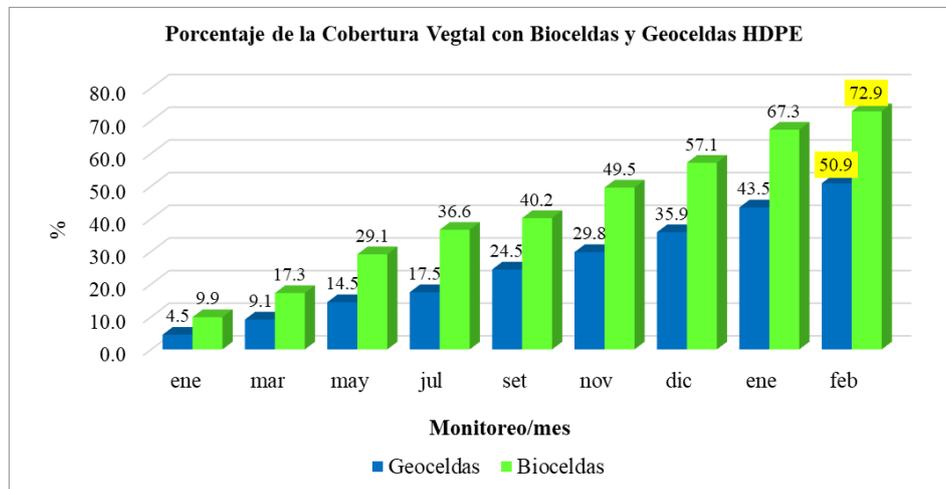


Figura 44

Porcentaje de la cobertura vegetal por metro cuadrado con Bioceldas y Geoceldas HDPE al culminar el proyecto



Chavarría F. (2019), señala que un ecosistema degradado necesita de estrategias de restauración (proceso lento y dificultoso) para poder restaurar la condición inicial del área.

Las técnicas de restauración que se puedan aplicar es la revegetación con el cual incrementa la cobertura vegetal o barrera contra la erosión. Por ende, los resultados que se aprecia en la figura 43, donde el 50.9% es de la cobertura vegetal acumulada en el área con Geoceldas HDPE, mientras que el 72.9% es la cobertura vegetal acumulada en el área con Bioceldas; siendo este mayor en un 22.0%.

Este resultado del comparativo de áreas con cobertura vegetal nos quiere decir que, durante los meses de instalación de ambos productos en el talud, habido un proceso efectivo de biodegradación de las Bioceldas que ha fertilizado al suelo, ha brindado una restauración con la función de los microorganismos, los nutrientes, minerales y el factor climático que ha condicionado un porcentaje elevado de la cobertura vegetal. Mientras que el resultado que

muestra la vegetación con Geoceldas HDPE, fue un proceso lento de la biodegradación de los polímeros. Diríamos que fue más por agentes químicos, mecánica y físicos lo cual no permitió obtener buenos resultados esperados.

4.7 Determinación de la eficiencia de las Bioceldas elaboradas de *Schoenoplectus californicus* (c.a. mey) Soják (la Totor), en comparación con las Geocelda HDPE, en la recuperación de áreas degradadas en talud de la carretera Otuzco – Combayo, 2022

Tabla 24 Indicadores Unitarios con Correlación lineal simple, con dos variables para la determinación de la eficiencia de las geoceldas y las bioceldas

INDICADORES				VARIABLES	
PARÁMETRO	SUB PARAMETRO	RECUESTO	ÍNDICE	GEOCELDAS HDPE DE ALTA DENSIDAD	BIOCELDAS <i>Schoenoplectus californicus</i> (c.a. mey)
Propiedades físico-mecánicas de las Bioceldas y las Geoceldas HDPE	Diseño de drenaje de la estructura	Texturizado máximo	%	55	80.5
	Espesor de la lámina ASTM D 5199		(mm)	1.45	1.51
	pH		-	0	6.9
	Resistencia a la rotura (tensión)		KN/m	24.2	12.1
	Elongación a la fluencia (alargamiento)		(mm)	(+/-2.95)	(+/-4.11)
	Tiempo de deshidratación		días	0.06	3.25
	Resistencia al rasgado (plegado)		KN/m	12.7	2.13
	Torsión ISO-13426-1 Par C		(kN/m)	19	5.04
	Porcentaje de retención de agua		%	0.25	85.8
	Parámetros finales de la aplicación de las Bioceldas y las Geoceldas HDPE	Porcentaje de humedad retenido en las Bioceldas y Geoceldas HDPE	Máximo valor	(%)	0.37
Porcentaje de humedad en el suelo con Bioceldas y Geoceldas HDPE		Máximo valor	(%)	19.3	19.9
Biodegradación de las Bioceldas y las Geoceldas HDPE			Kg/mes/final	3.09	1.41
Microorganismos actuantes en la biodegradación de las Bioceldas y las Geoceldas HDPE		CX Recuento de Mohos		8.4	24
		CX Recuento Bacterias totales	UFC/g	167	650
		CX Recuento de Levaduras		210	1300
Concentración del Nitrógeno, Fósforo y Potasio producto de la biodegradación de las Bioceldas y las Geoceldas		Nitrógeno (N)		167.1	941
		Fósforo (P)	mg/kg	6.7	18.9
		Potasio (K)		145.8	699.4
Porcentaje de revegetación con Bioceldas y Geoceldas HDPE instalados. Acumulados a marzo 2023				%	50.9
Resultados de los parámetros del suelo al cierre del proyecto	Materia Orgánica		%	0.50	1.80
	Relación Carbón/Nitrógeno		-	11.27	11.45
	pH del suelo		-	4.93	5.31
EFICIENCIA				51.7%	79.9%

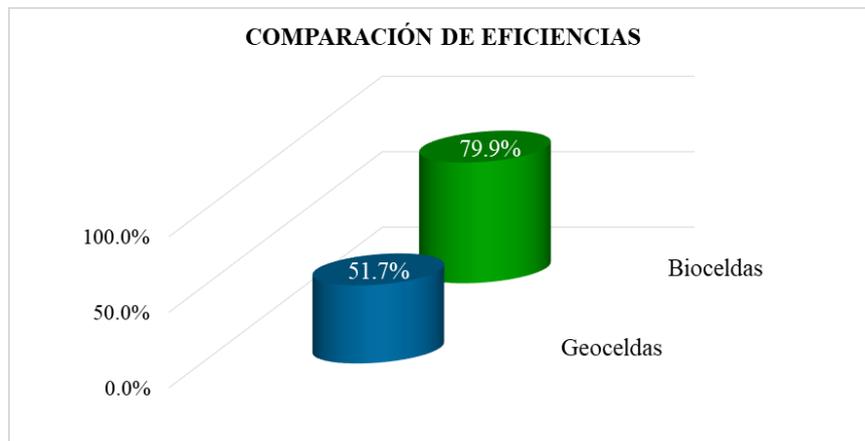
Luego de aplicar el análisis estadístico a las muestras representativas con Geoceldas HDPE y a las Bioceldas elaboradas a base de *Schoenoplectus californicus* (c.a. meyer.) Soják (la Tatora), se llegó a determinar que las Bioceldas son más eficientes en un 79.9% en comparación con las Geoceldas HDPE que solo llegó al 51.7%. Ésta diferencia de ambos productos en estudio se debe a un proceso de biodegradación que aporta grandes beneficios al suelo como: biodegradación, control de la erosión y los deslizamientos de masas de tierra, retención de agua en su bio estructura e hidratación al suelo donde se instaló evitando la evapotranspiración, nutrición al suelo al momento de biodegradarse, su acción ayudó a desarrollar la revegetación y otros beneficios que también fueron parte de las Bioceldas como: color es estético y ecológico ante la naturaleza del suelo. flexibilidad al 90%, fácil de instalar, su fabricación e instalación no altera ni destruye el medio ambiente y su producción genera impacto positivo en la sociedad.

Todos estos aportes relacionados a las Bioceldas son estrategias de restauración que necesitan un ecosistema (suelo) degradado para restaurarse las condiciones iniciales del área como menciona Chavarría F. (2019). Las técnicas de restauración que se puedan aplicar son la revegetación con el cual incrementa la cobertura vegetal o barrera contra la erosión, ya que el suelo no posee de un elemento aislante para protegerse de las variaciones de la temperatura que pueden afectar la germinación y establecimiento de las plantas. Protección de las primeras capas del suelo evitando la erosión, refuerzo del suelo evitando la formación de cárcavas, disminución de costes en la regeneración de espacios degradados y reducción del impacto ambiental.

En la siguiente figura 44, se muestran las eficiencias. El 51.7% correspondiente a las Geoceldas mientras que el 79.9% para las Bioceldas elaboradas de *Schoenoplectus californicus* (c.a. meyer.) Soják (la Tatora) después de 12 meses de investigación. Siendo el de las Bioceldas mayor en un 28.2% al de las Geoceldas HDPE.

Figura 45

Eficiencia de las Bioceldas y las Geoceldas HDPE



Durante la investigación, se realizó la evaluación de ambos materiales en la recuperación de áreas degradadas; siendo las Bioceldas más eficiente que las Geoceldas HDPE por sus diversos indicadores naturales que se expresa en las conclusiones.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES

De la investigación se concluye lo siguiente:

Las propiedades físico – mecánicas y edafológicas; Las Bioceldas elaborada a base de *Schoenoplectus californicus* (c.a. meyer.) Soják tienden a tener mayores propiedades e indicadores, en relación a las propiedades físico – mecánicas de las Geoceldas HDPE.

El porcentaje de humedad retenido en las estructuras es menor en las Geoceldas HDPE (0.37%). Mientras que las Bioceldas (27.9%) durante los 12 meses de monitoreo.

Durante los 12 meses de monitoreo en las Geoceldas HDPE se evidencia la biodegradación es muy lenta, debido a la acción microbiana no llega a depurar el Sintético de polietileno de alta densidad. Mientras que, en las Bioceldas, su tendencia de la biodegradación es negativa beneficiando al suelo. Llegando a la conclusión: La falta de las propiedades físicas, químicas y biológicas son un problema para el desarrollo de la vegetación natural, siendo el factor limitante la materia orgánica. Con un incremento de materia orgánica al suelo mejorará las propiedades y la capacidad de retención de agua, aporte de nutrientes como el Fosforo y Nitrógeno e incrementa la actividad biológica.

Los microorganismos actuantes en la biodegradación de las Bioceldas son mayores en comparación con la biodegradación de las Geoceldas HDPE, incluso los *Basidiomicetos*

(51.8%), *Actinomicetos* (50.7%) y *Phanerochaete chrysosporium* (48.2%) son las UCF que más abundan en la biodegradación de las Bioceldas.

Concentración del Nitrógeno (941 >167 mg/kg), Fósforo (18.9 > 6.7 mg/kg) y Potasio (699.4 > 145.8 mg/kg) son mayores. Producto de la biodegradación en el talud con Bioceldas en comparación con la concentración en el talud donde se instaló las Geoceldas HDPE. Esto debido a la incorporación de la materia orgánica, mejorando las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

La cobertura vegetal el área con Bioceldas se tiene un 72.9%. Superior a área con Geoceldas HDPE con 50.9%.

CAPÍTULO VI

6. RECOMENDACIÓN DEL ESTUDIO

- Es necesario que se haga siembra de plantas nativas y pueda fijar la estabilidad de las Bioceldas y del talud, dichos cultivos sembrado deberían ser plantas fijadoras NPK.
- Se debe ampliar los muestreos y un seguimiento más minucioso a las condiciones de suelo, nutrientes, así como la evolución los microorganismos en varios puntos de las áreas con Bioceldas y Geoceldas HDPE.
- Es necesario que la investigación sea difundida a los proyectos donde haya proyectos que degradan el suelo, e incluyan estos procedimientos y resultados para poder recuperar las áreas degradadas.
- En los proyectos donde se pueda recuperar áreas degradas por la mano del hombre se tenga como alternativa de solución introducir las Bioceldas con la finalidad de brindar materia orgánica, fertilización, estabilidad física y química al suelo, así como revegetación a las áreas impactadas.
- Las Bioceldas por ser un producto biodegradable, ecológico y sus diversas ventajas sobre las Geoceldas HDPE deben ser utilizadas en los proyectos ambientales, ya que su fabricación genera puestos de trabajo para los artesanos de las lagunas.

CAPITULO VII

7. REFERENCIAS

- American Association of State Highway, & Transportation Officials. (2019). Standard Practice for Geosynthetic Reinforcement of the Aggregate Base Course of Flexible Pavement Structures. AASHTO Publication R 50-09. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C
- Chávez-Sifontes MyDomine M.E. Lignina, estructura y aplicaciones: Métodos de despolimerización para la obtención de derivados Aromáticos de interés industrial. Avances en Ciencias e Ingeniera. 2013 4(4), 15-46.
- Daniel G, Nilsson T, Pettersson B. Intra-and extracelular localization of lignin peroxidase during the degradation of solid Wood and fragments by Phanerochaete chrysosporium by using transmisión electron microscopy and Inmuni-Gold labeling. Appl. Environ. Microbiol. 2009, 55:871-881.
- Dzul-Puc J.D. Esparza-Garcia F, Barajas-AcevesM; Rodriguez-Vasquez R. Benso Pyrene removal from soil by Phanerochaete chrysosporium grown on sugarcane bagasse and pine sawdust J.D. Chemosphere. 2019, 58:1-7.
- Ing. A. Infante. Análisis Geotécnico en la Estabilidad de Taludes de la Carretera tramo Otuzco - Combayo distrito Encañada provincia de Cajamarca, 2020, p:31-32.
- Wesemael, B. 2023. Litter decomposition and nutrient distribution in humus profiles in some mediterranean forests in southern Tuscany. Forest Ecology and Management. 57: 99-114.
- Paradelo R. Fertilización del Kikuyo Pennisetum Clandestinum con tres Fuentes Nitrogenadas, dos Sólidas y una Líquida en tres niveles y dos frecuencias. 2023. Tesis Ing. Biotecnología. ESPE, Ecuador. p.151.

- Khadrani A. Siegle-Murandi F, Steinman R, Vrousami T. Degradation of three phenylurea herbicides (chlortorulon, isoproturaon and diuron) by micro-mycetes isolated from soil. *Chemosphere*. 2020.
- Pérez J. Muñoz J. De la Rubia T, Martínez J. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview. *Int microbiol*. 2022, 5:53-63.
- Ramon Pascual J. La ciencia del suelo y su manejo. Ed. Paraninfo, 2020. - Porta, J.; López-Acevedo, M. y Roquero, C.: Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 3ª edición, Mundi-Prensa, Madrid, 2003.
- Sasek V. Why mycoremediations have not yet come to practice. In: Sasek, V. (Ed.), *The Utilization of Bioremediation to Reduce Soil Contamination: Problems and Solutions*. Kluwer Academic Publishers 2018 pp 247-276.
- A. Infante J. Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. *Revista Peruana de Biología*, p. 31
- Yadav J.S. Doddapaneni H. Subramanian V. P450 gene of the White rot fungus *Phanerochaete chrysosporium*: structure, evolution and regulation of expression of genomic P4560 clusters. *Biochemical Society Transactions*. 2016, 34: 1165-1169.
- Matteucci, S y Colma, A. 2022. Metodología para el estudio de la vegetación (en línea). Venezuela. 86 p. Consultado el 5 octubre 2018. Disponible en: http://aprobioma.files.wordpress.com/2011/03/metod_para_el_estudio_de_la_vegetacion_archivo1.pdf
- Chavarria F. Primeros estadios en la regeneración natural de la vegetación post – incendio en los humedales de ventanilla (en línea) Perú. Consultado el 05 octubre. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v16n1/a04v16n1.pdf>
- Brack W. Litter decomposition and nutrient distribution in humus profiles in some mediterranean forests in southern Tuscany. *Forest Ecology and*

Management Traducción: La degradación a la cual fue sometido el suelo por el efecto de la compactación se reflejó en las propiedades físicas, especialmente aquellas relacionadas a la porosidad y a la densificación del suelo. 57: 99-114.

F. Choquelahua. Contribution to the development of new bio-based thermal insulation materials made from vegetal pith and natural binders: hygrothermal performance, fire reaction and mould growth resistance. p 127-129.

Hidalgo (2017). La Totora como material de aislamiento térmico: propiedades y potencialidades del cultivo altoandino en Puno. Siebra y cosecha. Agencia de materiales de resistencia en la construcción. p. 121.

López. 2002. Diversidad de los organismos del suelo y transformaciones de la materia orgánica. I Conferencia Internacional eco-biología del suelo y el compost, soil ACE, León. España. p211-212.

Abanto. 2016. Producción y evaluación de un inoculante microbiano con capacidad amilolítica a partir de un proceso de compostaje de residuos de lechuga. Tesis de Grado. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. Carrera de Microbiología Industrial. 102p

J. Prause. 2020. Liberación y dinámica de calcio, potasio, magnesio y sodio proveniente de la descomposición de hojarasca en un bosque subtropical argentino. Agroquímica. VXLIV (3- 4):107-114p.

Arutchelvi. Degradación de materiales polímeros: los plásticos. Generalidades. Factores ambientales de degradación. Biodegradación y Fotodegradación. Fom I. 31-33p.

Figuroa. Geotextile Reinforced Unpaved Roads Desing, "Journal of the Geotechnical Engineering Divison, American Society of Civil Enginners, Vol. 107. 2018"

Zornberg, J.G., Gupta, R. (2020). Geosynthetics in Pavements: North American Contributions. Theme Speaker Lecture, Proceedings of the 9th Int. Conference on Geosynthetics, Guarujá, Brazil, May, Vol. 1.

IPS. TAPPI standards are testing procedures and related practices used in the measurement, evaluation, and description of pulp, paper, and related products, including raw materials used in their manufacture, use, or in scientific investigations of any such substances. <https://ipstesting.com/find-a-test/tappi-test-methods/tappi-t-411-caliper/>

CAPITULO VII

8. ANEXOS

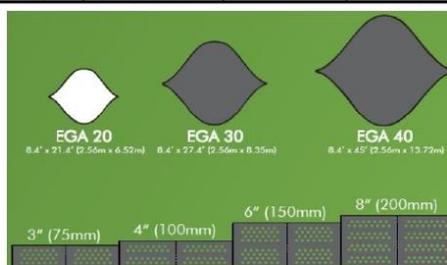
Anexo 01. Ficha técnica de las Geoceldas HDPE

FICHA TÉCNICA

GEOCELDA

Propiedades	Unidad	Valor Típico
Dimensión de la celda. Medida (ancho x largo)	mm	245 x 210
Área Celda Nominal Expandida	cm ² (in ²)	273
Sección Nominal Expandida. (ancho x largo)	m	2.5 x 8.2
Área Sección Nominal Expandida	m ²	20.5
Altura de Panel de la Celda	mm	125+/-5%
Resistencia a la rotura ISO-13426-1 Part C	kN/M	19 valor mínimo
Resistencia de las soldaduras	Una junta soldada de 102 mm (4.0") resistiendo un peso de 72.5 kg (160 lbs) por 30 días mínimo, o una junta soldada de 102 mm (4.0") resistiendo un peso de 72.5 kg (160 lbs) por 7 días mínimo mientras está sujeta a cambios de temperatura desde 23° C (74° F) hasta 54° C (130° F) en un ciclo de una hora.	

Propiedades del Material	Método	Unidad	Valor
Eficiencia de la soldadura (mínimo promedio)	GRI-GS13	%	100%
Densidad mínima de polímeros (min. ave.)	ASTM D 1505	g/cm ³ (lb/ft ³)	0.935 (58.4)
Contenido de carbón negro	ASTM D 1603	% por peso	1.5% mínimo
Resistencia a la tracción (min. ave.) (1)	ASTM D 6693, Tipo IV	lb/in (N/mm)	105 (18)
Resistencia a la rotura. lb/in ancho (N/mm)		lb/in (N/mm)	63 (11)
Resistencia a la fluencia, lb/in ancho (N/mm)		%	12
Resistencia a la rotura, %		%	100
Resistencia al desgarro, (min. ave.)	ASTM D 1004	lb. (N)	20 (93)
Resistencia al punzonamiento (min. ave.)	ASTM D 4833	lb. (N)	50 (223)
Dispersión de negro de Humo (3)	ASTM D 5596	nota (5)	nota (5)
Ángulo de fricción directo (4)	ASTM D 5321	grados	30°
Resistencia al agrietamiento	ASTM D 5397	horas	>400
Resistencia al agrietamiento	ASTM D 1693	horas	6000
Tiempo de inducción a la oxidación (OIT) (Min. ave.) (5) (a) Standard OIT	ASTM D 3895	minutos	100
-o-	ASTM D 5885		400
(b) Alta presión OIT	ASTM D 5885		400
Envejecimiento al horno 85° C (5)	ASTM D 5721	%	55%
(a) Standard OIT (min. ave.) - % después de 90 días	ASTM D 3895		
-o-			
(b) Alta presión OIT (min. ave.) -% después de 90 días	ASTM D 5885		80%
UV Resistencia (6)	ASTM D 7238	%	N. R. (7)
(a) Standard OIT (min. ave.)	ASTM D 3895		
- o -			
(b) Alta presión OIT (min. ave.) - % después de 1600 hrs.	ASTM D 5885		50%



de Los Jinetes No. 139, Col. Las Arboledas, Atizapán de Zaragoza, Estado de México. C. P. 52950
 : (55) 5661*9917 / (55) 1054*6740 / (55) 5661*2324 / 01800*654*5418
www.geosistemas.net / información@geosistemas.net

Anexo 02. Biodegradación de las Bioceldas

Resultados encontrados al primer (01) mes



Resultados encontrados al primer (01) mes



Resultados encontrados al tercer (03) mes



Resultados encontrados al tercer (03) mes



Resultados encontrados al noveno (09) mes



Resultados encontrados al noveno (09) mes



Resultados encontrados a los doce (12) meses



Resultados encontrados a los doce (12) meses



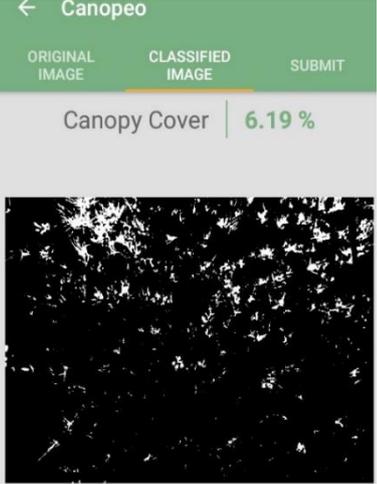
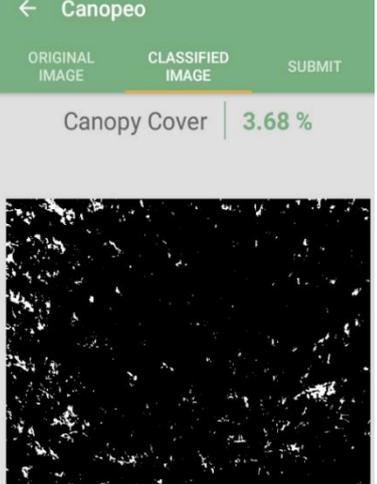
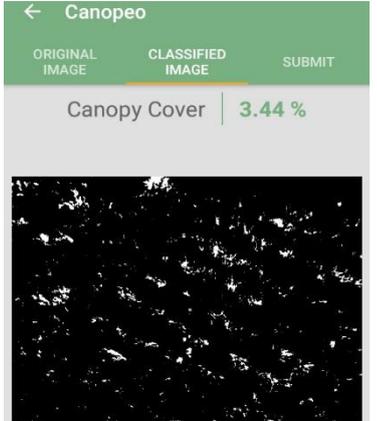
Resultados encontrados a los trece (13) meses

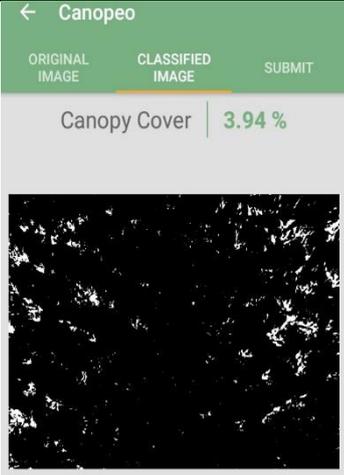
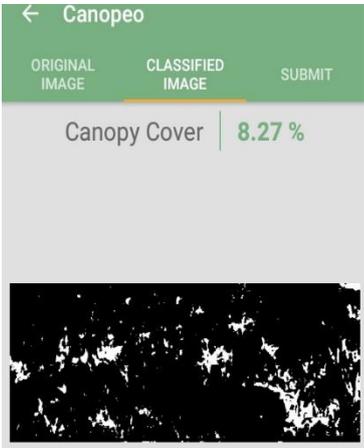
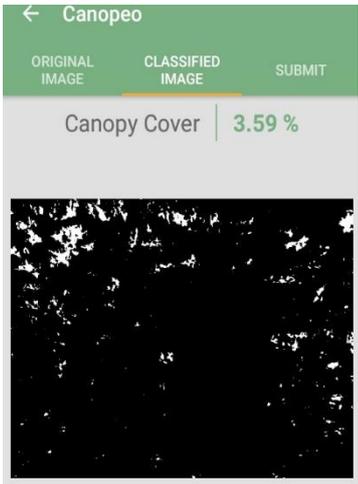


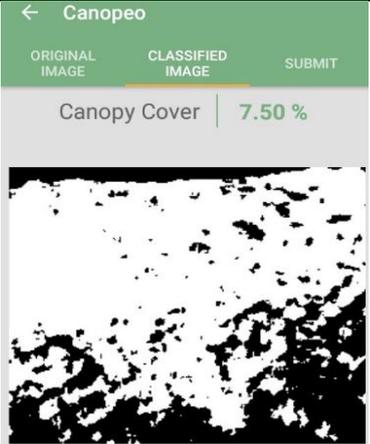
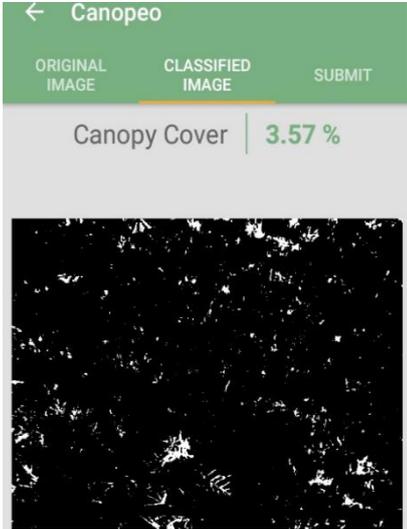
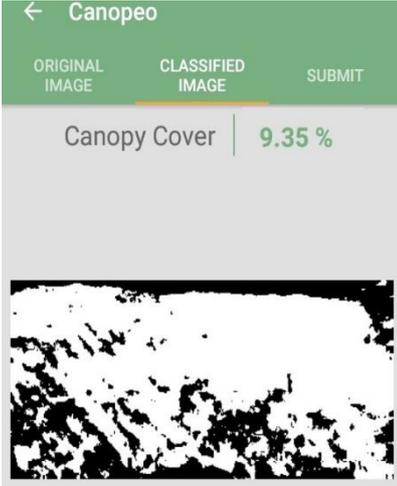
Resultados encontrados a los trece (13) meses

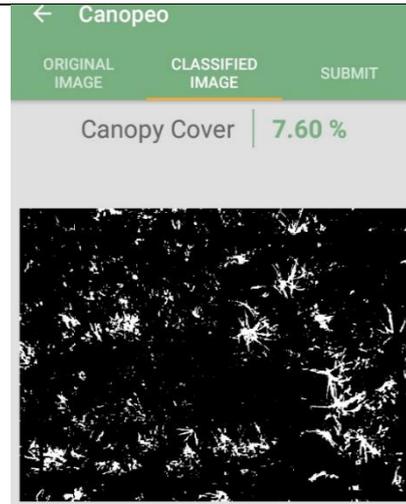


Anexo 03. Fotogrametría del porcentaje de revegetación con Bioceldas.

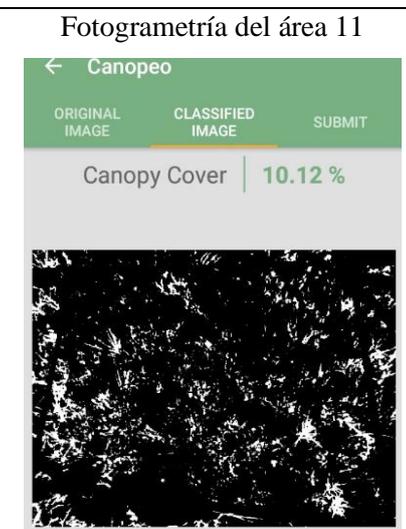
<p>Área 01</p> 	<p>Fotogrametría del área 01</p> 
<p>Área 02</p> 	<p>Fotogrametría del área 02</p> 
<p>Área 03</p> 	<p>Fotogrametría del área 03</p> 
<p>Área 04</p>	<p>Fotogrametría del área 04</p>

	
<p style="text-align: center;">Área 05</p> 	<p style="text-align: center;">Fotogrametría del área 05</p> 
<p style="text-align: center;">Área 06</p> 	<p style="text-align: center;">Fotogrametría del área 06</p> 
<p style="text-align: center;">Área 07</p>	<p style="text-align: center;">Fotogrametría del área 07</p>

	
<p style="text-align: center;">Área 08</p> 	<p style="text-align: center;">Fotogrametría del área 08</p> 
<p style="text-align: center;">Área 09</p> 	<p style="text-align: center;">Fotogrametría del área 09</p> 
<p style="text-align: center;">Área 10</p>	<p style="text-align: center;">Fotogrametría del área 10</p>



Área 11



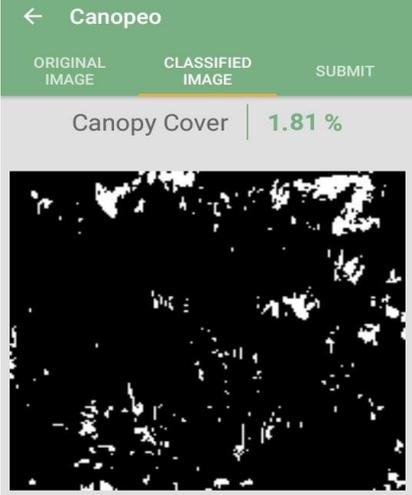
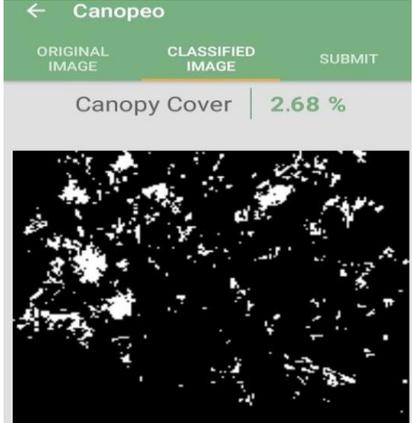
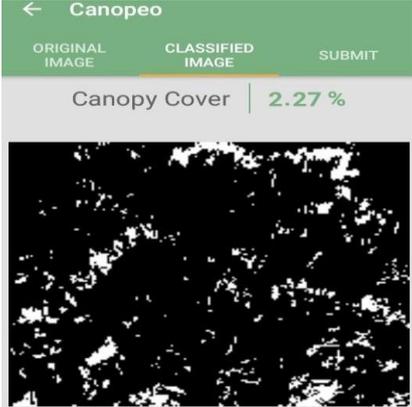
Fotogrametría del área 11

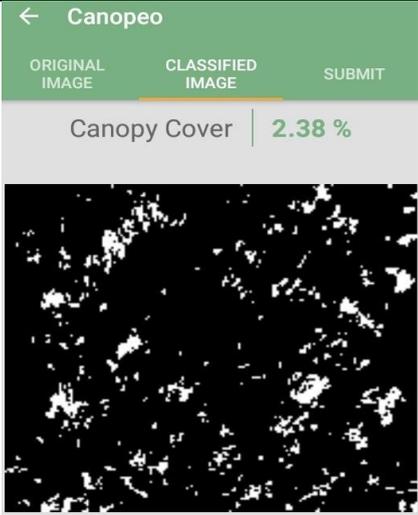
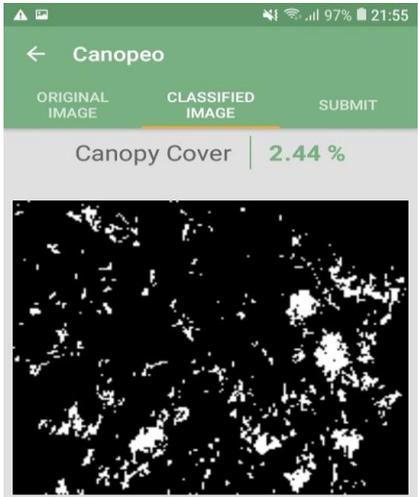
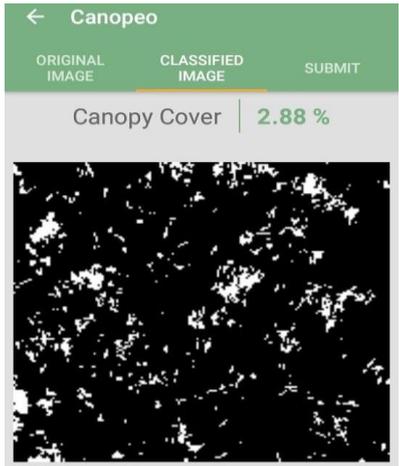
Área 12

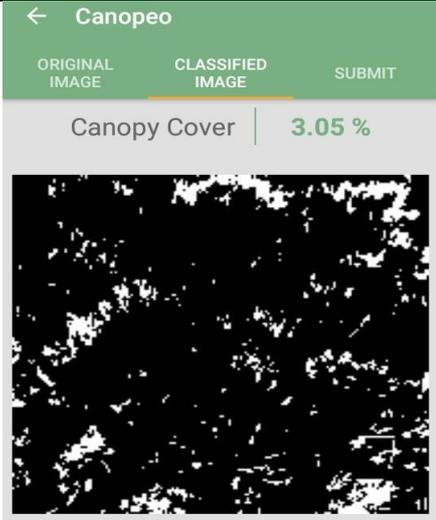
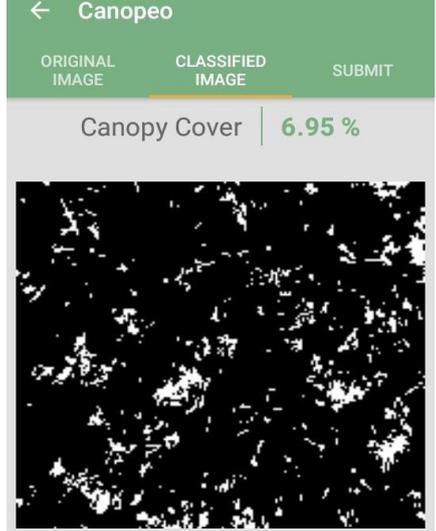
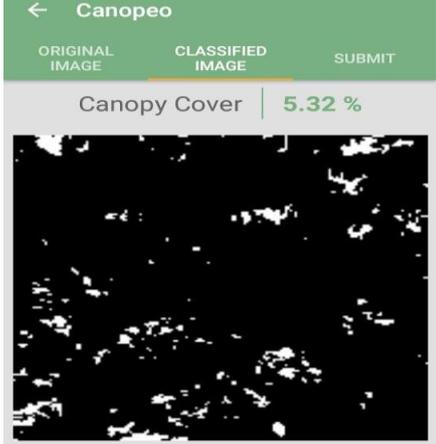


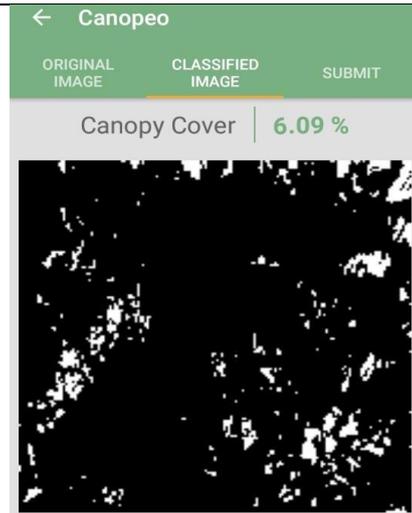
Fotogrametría del área 12

Anexo 04. Fotogrametría del Porcentaje de Densidad de Revegetación en el área con Geoceldas HDPE

<p style="text-align: center;">Área 01</p> 	<p style="text-align: center;">Fotogrametría del área 01</p> 
<p style="text-align: center;">Área 02</p> 	<p style="text-align: center;">Fotogrametría del área 02</p> 
<p style="text-align: center;">Área 03</p> 	<p style="text-align: center;">Fotogrametría del área 03</p> 
<p style="text-align: center;">Área 04</p>	<p style="text-align: center;">Fotogrametría del área 04</p>

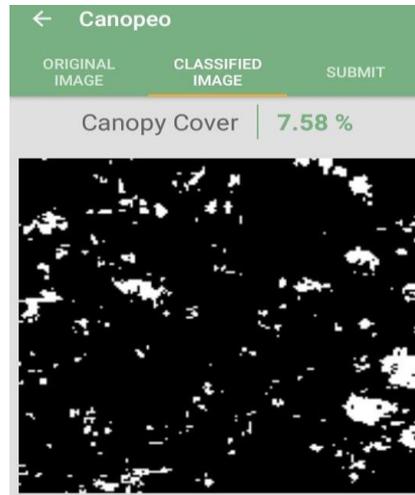
	
<p style="text-align: center;">Área 05</p> 	<p style="text-align: center;">Fotogrametría del área 05</p> 
<p style="text-align: center;">Área 06</p> 	<p style="text-align: center;">Fotogrametría del área 06</p> 
<p style="text-align: center;">Área 07</p>	<p style="text-align: center;">Fotogrametría del área 07</p>

	
<p style="text-align: center;">Área 08</p> 	<p style="text-align: center;">Fotogrametría del área 08</p> 
<p style="text-align: center;">Área 09</p> 	<p style="text-align: center;">Fotogrametría del área 09</p> 
<p style="text-align: center;">Área 10</p>	<p style="text-align: center;">Fotogrametría del área 10</p>



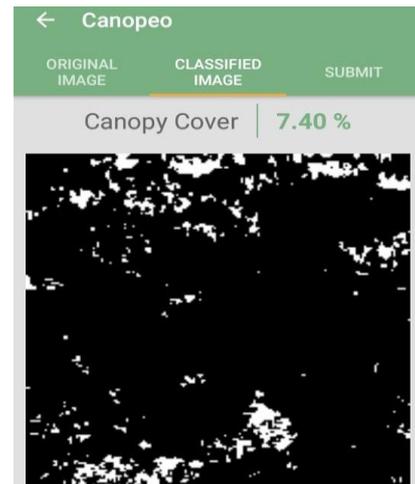
Área 11

Fotogrametría del área 11



Área 12

Fotogrametría del área 12



REFUERZO EN CARRETERAS **Geocelda**

Panel en forma tridimensional 3D, conocido como Geoceldas, última tecnología para el confinamiento de material granular, mejorando sus propiedades de desempeño iniciales y garantizando estabilidad dimensional.



PAVCO wavin

VENTAJAS Y BENEFICIOS

- Reducción de espesores de material granular que conforman la estructura de pavimento.
- Reemplazo de material granular de alta especificación por materiales de menor resistencia.
- Disminución de costos de mantenimiento del proyecto.
- Incremento de la vida útil de la carretera.
- Disminución de materiales pétreos no renovables.

CAMPOS DE APLICACIÓN

- Estabilización de subrasantes.
- Refuerzo de estructuras de pavimento.
- Refuerzo de estructuras férreas.
- Refuerzo de cimentaciones.
- Absorción de cambios de rigidez y asentamientos diferenciales.

FUNCIONES



Confinamiento



Estabilización



Refuerzo



PAVCO wavin

PROPIEDADES MECÁNICAS	NORMA	UNIDAD	VALOR				
			445 - 075	356 - 100	356 - 120	445 - 150	445 - 200
Resistencia a la tensión en el punto de fluencia Valor mínimo (± 3%)	ISO 10319	kN/m	22	22	22	22	22
Resistencia a la tensión en la soldadura Valor mínimo (± 3%)	ISO 13426-1 Metodo B	kN/m	16	16	16	16	16
Tiempo inducción oxidación	ASTM D3895	min	>150	>150	>150	>150	>150
Resistencia al agrietamiento por exposición ambiental	ASTM D1693	h	≥5000	≥5000	≥5000	≥5000	≥5000
PROPIEDADES FÍSICAS	NORMA	UNIDAD	445 - 075	356 - 100	356 - 120	445 - 150	445 - 200
Material	-		HDPE Virgen				
Densidad	ASTM D1505	g/cm3	0.945 - 0.960	0.945 - 0.960	0.945 - 0.960	0.945 - 0.960	0.945 - 0.960
Negro de humo	ASTM D1603	%	>1.5	>1.5	>1.5	>1.5	>1.5
Espesor (texturizado)	ASTM D5199	mm	1.50 (±10%)	1.50 (±10%)	1.50 (±10%)	1.50 (±10%)	1.50 (±10%)
Distancia entre costillas	Medido	mm	445	356	356	445	445
Dimensiones de la celda abierta (± 3%)	Medido	mm	315 x 304	259 x 226	259 x 226	315 x 304	315 x 304
Altura de las celdas (± 3%)	Medido	mm	75	100	120	150	200
Dimensiones de la sección expandida (± 3%)	Medido	m	2.52 x 9.12	2.52 x 7.30	2.52 x 7.30	5.04 x 9.12	2.52 x 9.12
Área sección expandida (± 3%)	Medido	m2	22,96	18,37	18,37	45,96	22,96
Ranurada (Conexión pines)			-	X	X	X	X

PIN CONECTOR	PROPIEDADES		
Piezas	2 (pin y abrazadera)		
Color	Naranja, para facilitar la identificación de la unión de los paneles en el proceso de instalación.		
ABRAZADERA	PROPIEDADES	PIN	PROPIEDADES
Ancho	20 mm	Diámetro cabeza	20 mm
Largo	20 mm	Altura	24 mm
Espesor	5 mm	Diámetro del vástago	7 mm



CONVENCIONES:

ASTM: American Society for Testing and Materials. • N. A.: No aplica.

Operamos bajo sistemas internacionales de control de calidad; Contamos con la acreditación **GAI LAP (The Geosynthetic Institute)**.

La presente ficha técnica está vigente a partir de mayo de 2021. Nos reservamos el derecho de introducir las modificaciones de especificaciones que considere necesarias para garantizar la óptima calidad y funcionalidad de sus productos sin previo aviso. La información aquí contenida se ofrece gratis, es cierta y exacta a nuestro leal saber y entender; no obstante, todas las recomendaciones y sugerencias están hechas sin garantía, puesto que las condiciones de uso están fuera de nuestro control y es responsabilidad exclusiva del usuario. Por favor verificar los datos de esta especificación con el Departamento de Ingeniería para confirmar que la información esta vigente.

COLOMBIA: • Tel.: (571) 782 5000 Ext.: 1518
• ingenieriageosinteticos@wavin.com • www.wavin.com/es-co
PERÚ: • Tels.: (511) 6276038 / 6276039 • geosperu@wavin.com • www.wavin.com/es-pe

Anexo 05. Análisis de la Titora, Análisis de suelo antes y después en los laboratorios SGS y Anova