

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Elaboración de una urna biodegradable como alternativa
ambiental de sepultura - Arequipa, 2021**

Jair Jeanpaul Peralta Guillen

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2022

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por escucharme y apoyarme en los momentos de incertidumbre y dificultad.

A mi madre Mirtha Guillén, abuela Luz Marina Zúñiga y tía Norminha Guillén, por su apoyo constante e incondicional, por sus ejemplos de fuerza y empeño que han servido de motivación para desarrollar este proyecto.

Al biólogo Sixto Tapia, que descansa en paz, por su constante motivación y apoyo desde que inicié este camino hacia la ingeniería ambiental, al Mg. Lalo Monzón por su constante apoyo en cada duda y dificultad presentada.

A la Universidad Continental por abrirme sus puertas y brindarme la posibilidad de demostrar mi calidad como profesional, y así también a la Mg. Verónica Canales que me guio e incentivó en todo momento a desarrollar esta tesis.

DEDICATORIA

A mi madre Mirtha, que es mi mayor orgullo y ejemplo de lucha y amor. Apoyándome y guiándome en todo momento de mi vida para superarme cada día, haciendo de mí una persona de bien, educada y responsable. Así también, a mi tía Norminha y mi abuelita Luz Marina por su apoyo incondicional día tras día de trabajo y esfuerzo. Y, finalmente, a mi abuelito Julio que descansa en paz, que fue un ejemplo de hombre justo y honesto para mí y que desde el cielo está acompañándome y guiándome en cada uno de mis pasos.

ÍNDICE

Agradecimientos	ii
Dedicatoria	iii
Índice	iv
Lista de tablas	viii
Lista de figuras	ix
Resumen	xi
Abstract	xii
Introducción	xiii
CAPÍTULO I	15
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	15
1.1. Planteamiento del problema	15
1.2. Formulación del problema.....	16
1.2.1. Problema general	16
1.2.2. Problemas específicos	16
1.3. Objetivos	16
1.3.1. Objetivo general	16
1.3.2. Objetivos específicos.....	16
1.4. Justificación e importancia	17
1.4.1. Ambiental	17
1.4.2. Económica.....	17
1.4.3. Metodológica	17
1.4.4. Importancia.....	17
1.5. Limitaciones de la investigación.....	18
1.6. Hipótesis	18
1.7. Variable.....	18
CAPÍTULO II	19
MARCO TEÓRICO	19
2.1. Antecedentes de la investigación.....	19
2.1.1. Internacionales	19
2.1.2. Nacional	23
2.1.3. Local.....	25

2.2. Bases teóricas	26
2.2.1. Cementerios tradicionales	26
2.2.2. Cementerios verdes	26
2.2.3. Tipos de cementerios verdes	27
2.2.3.1. Parque cementerio	27
2.2.3.2. Bosque cementerio	27
2.2.3.3. Cementerio ecológico	28
2.2.4. Tipos de sepulturas y cremaciones amigables con el medio ambiente	28
2.2.4.1. Sepultura de cenizas en urnas biodegradables	28
2.2.4.2. Sepultura en ataúdes sostenibles	28
2.2.4.3. Esparcimiento de cenizas en el agua	28
2.2.4.4. Promoción	29
2.2.4.5. Resomación	29
2.2.4.6. Sepultura mediante trajes biodegradables	30
2.2.4.7. Sepultura de cápsulas biodegradables	31
2.2.5. Urnas biodegradables	32
2.2.6. Material biodegradable	32
2.2.6.1. Tipos de materiales biodegradables	32
2.2.7. Abonos orgánicos	33
2.2.8. Tipos de abonos orgánicos	33
2.2.8.1. Harina de huesos	33
2.2.8.2. Algas marinas	34
2.2.8.3. Cenizas	34
2.2.8.4. Posos de café	34
2.2.8.5. Cabello humano y pelo animal	34
2.2.8.6. Cáscaras de huevo	35
2.2.9. Nutrientes necesarios para el desarrollo de una planta	36
2.2.9.1. Nitrógeno	37
2.2.9.2. Fósforo	37
2.2.9.3. Potasio	37
2.2.9.4. Calcio	38
2.2.9.5. Magnesio	38
2.2.9.6. Azufre	38

2.2.10. Relevancia de la capacidad de intercambio catiónico en la nutrición del suelo	38
2.2.11. Efectos negativos del entierro y la cremación	39
2.2.11.1. El entierro	39
2.2.11.2. La cremación	41
2.2.12. Composición de las cenizas y su aprovechamiento como fertilizante	42
2.2.13. Clima de Arequipa	43
2.3. Definición de términos básicos	43
CAPÍTULO III	46
METODOLOGÍA	46
3.1. Método, tipo y alcances de la investigación	46
3.1.1. Método de la investigación	46
3.1.2. Tipo de investigación	46
3.1.3. Nivel de investigación	46
3.1.4. Diseño de investigación	46
3.2. Materiales y métodos	47
3.2.1. Ubicación geográfica	47
3.2.2. Población y muestra	47
3.2.2.1. Población	47
3.2.2.2. Muestra	48
3.2.3. Evaluación preliminar de las condiciones iniciales del suelo	48
3.2.4. Elección de los materiales biodegradables para la elaboración de la urna	49
3.2.5. Elaboración de la urna biodegradable	50
3.2.6. Complementación de la urna biodegradable con materiales biodegradables adicionales	54
3.2.7. Sepultura de la urna biodegradable	55
3.2.8. Evaluaciones periódicas del pH del suelo y la biodegradación de la urna	56
3.2.9. Evaluación de control y final de las condiciones del suelo postsepultura de la urna biodegradable	59
3.2.10. Estándares para la interpretación de resultados	59
3.3. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	60

3.3.1. Técnicas	60
3.3.2. Instrumentos.....	60
CAPÍTULO IV.....	61
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	61
4.1. Presentación de resultados.....	61
4.1.1. Con respecto a las características de la urna biodegradable	61
4.1.2. Con respecto a la degradación de los materiales que componen la urna biodegradable.....	61
4.1.3. Con respecto al comportamiento de los nutrientes en el suelo postsepultura de la urna biodegradable	64
4.1.3.1. Con respecto al pH del suelo.....	64
4.1.3.2. Con respecto a los macronutrientes y elementos secundarios	68
4.2. Discusión de resultados	72
Conclusiones.....	77
Recomendaciones.....	78
Lista de referencias.....	79
Anexos	88

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Componentes de la cáscara de huevo	36
Tabla 2. Cantidad de material biodegradable necesario para cada urna	51
Tabla 3. Distribución de las capas internas de la urna biodegradable	54
Tabla 4. Cantidad de material biodegradable complementario	54
Tabla 5. Observaciones periódicas de biodegradación de las urnas 1 y 2.....	62
Tabla 6. Observaciones periódicas de biodegradación 3, 4 y 5	63
Tabla 7. Resultados de evaluación de pH 1, 2 y 3	65
Tabla 8. Resultados de evaluación de pH 4, 5 y 6	66
Tabla 9. Resultados de análisis de parámetros químicos del suelo (macronutrientes y elementos secundarios)	69
Tabla 10. Matriz de consistencia	89
Tabla 11. Operacionalización de la variable.....	90

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cementerio general "La Apacheta"	26
Figura 2. Cementerio "Parque de la esperanza"	26
Figura 3. Proceso de promoción	29
Figura 4. Diseñadora Lee y sus trajes ecológicos	30
Figura 5. Esquema de funcionamiento de la Cápsula Mundi	31
Figura 6. Proceso de biodegradación.....	32
Figura 7. Generación y reaprovechamiento de la cáscara de huevo	36
Figura 8. Ubicación geográfica del distrito de José Luis Bustamante y Rivero	47
Figura 9. Muestreo inicial del suelo destinado a las urnas biodegradables.....	49
Figura 10. Cáscaras de huevo recolectadas	50
Figura 11. Reducción de la cáscara de huevo a partículas pequeñas	50
Figura 12. Moldeo manual de la urna biodegradable	52
Figura 13. Exposición a altas temperaturas para la solidificación de la urna biodegradable.....	53
Figura 14. Urna biodegradable presellamiento.....	53
Figura 15. Formación de capas de material complementario.....	54
Figura 16. Profundidad excavada destinada a las urnas biodegradables	55
Figura 17. Sepultura de las urnas biodegradables	55
Figura 18. Plantación de la especie arbórea Eucalyptus.....	56
Figura 19. Riego periódico del suelo	56
Figura 20. Muestra de suelo a analizar pH.....	57
Figura 21. Inserción de la tira de papel medidor de pH.....	58
Figura 22. Evaluación del pH en relación al espectro de tonos.....	58
Figura 23. Interpretación de resultados del pH del suelo	68
Figura 24. Interpretación de resultados del comportamiento de los parámetros químicos	71
Figura 25. Cáscaras de huevo lavadas y secadas	103
Figura 26. Trituración de cáscaras de huevo mediante batán.....	103
Figura 27. Materia prima principal triturada en partículas pequeñas.....	103
Figura 28. Adición de 250 gr de chíá a 600 gr de cáscara de huevo	104

Figura 29. Adición de 30 gramos de bicarbonato de sodio y grenetina c/u y 300 ml de agua.....	104
Figura 30. Moldeo de la masa preparada.....	104
Figura 31. Disposición de las urnas elaboradas al horno.....	105
Figura 32. Aplicación de capa adicional externa de grenetina	105
Figura 33. Refrigeración postaplicación de la grenetina.....	105
Figura 34. Muestra del suelo.....	106
Figura 35. Materiales complementarios: pelo, posos de café y cenizas.....	106
Figura 36. Adición de materiales complementarios.....	106
Figura 37. Urnas biodegradables listas para sepultura	107
Figura 38. Entierro de las 3 repeticiones de urna biodegradable	107
Figura 39. Riego periódico del suelo	107
Figura 40. Toma de muestra periódica para evaluación de pH.....	108
Figura 41. Evaluación de pH.....	108
Figura 42. Día 70: observación final de las 3 urnas biodegradables	109

RESUMEN

La presente investigación tuvo como propósito establecer las características de una urna biodegradable como alternativa ambiental de sepultura, enfocándose en la degradación de los materiales que la componen y el comportamiento de los nutrientes en el suelo.

Se utilizó cáscara de huevo para la estructura de la urna y complementos como pelo de animal, cenizas y posos de café. Se enterraron las tres repeticiones, evaluando periódicamente las características de degradación, cambios de pH en el suelo y concentración de nutrientes.

Respecto a la degradación, esta fue limpia y pausada. Las estructuras de las urnas se encontraban íntegras hasta 57 días postsepultura. El pH fue muy similar en los tres puntos de sepultura, estando sus valores entre los intervalos de 5 y 6 el primer mes y entre 6 y 7 posteriormente. Respecto al comportamiento de los nutrientes en el suelo, los resultados del primer, segundo y tercer análisis fueron los siguientes respectivamente: nitrógeno 655 mg/kg, 675 mg/kg y 502 mg/g, fósforo 6.90 mg/kg, 10.82 mg/kg y 6.89 mg/kg, calcio 20.40 meq/100 g, 19.49 meq/100 g y 18.24 meq/100 g, magnesio 1.43 meq/100 g, 1.41 meq/100 g y 1.07 meq/100 g, potasio 0.70 meq/100 g, 0.81 meq/100 g y 0.97 meq/100 g.

En conclusión, la urna biodegradable la caracteriza una biodegradación limpia, acercando el pH del suelo a sus rangos óptimos y no evidenciando un impacto negativo significativo en cuanto al comportamiento de los nutrientes en el suelo, cumpliendo con su propósito de alternativa ambiental de sepultura.

Palabras claves: biodegradación, estabilización, intercambio catiónico, sepultura, urna

ABSTRACT

The purpose of this research was to establish the characteristics of a biodegradable urn as an environmental alternative for burial, focusing on the degradation of the materials that compose it and the behavior of nutrients in the soil.

Eggshell was produced for the structure of the urn and accessories such as animal hair, ashes and coffee grounds. The three repetitions were buried, periodically evaluating the degradation characteristics, pH changes in the soil and nutrient concentration.

Regarding the degradation, this was clean and slow. The structures of the urns were found intact up to 57 days after burial. The pH was similar in the three burial points, with its values between the intervals of five and six the first month and between six and seven later. Regarding the behavior of nutrients in the soil, the results of the first, second and third analyzes were the following, respectively: nitrogen 655 mg/kg, 675 mg/kg and 502 mg/kg, phosphorus 6.90 mg/kg, 10.82 mg/kg and 6.89 mg/kg, calcium 20.40 meq/100 g, 19.49 meq/100 g and 18.24 meq/100 g, magnesium 1.43 meq/100 g, 1.41 meq/100 g and 1.07 meq/100 g, potassium 0.70 meq/100 g, 0.81 meq/100 g and 0.97 meq/100 g.

In conclusion, the biodegradable urn is characterized by a clean biodegradation, bringing the soil pH closer to its most optimal ranges and not showing a significant negative impact in terms of the behavior of nutrients in the soil, fulfilling its purpose as an environmental burial alternative.

Keywords: biodegradation, burial, cation exchange, stabilization, urn

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia se han observado distintas formas de despedir a un difunto, estas varían, dependiendo de cómo la muerte sea percibida por determinada cultura. Actualmente, en el Perú, la sepultura y la cremación son las más comunes formas de rendirle tributo a un difunto, sin embargo, el impacto en el ambiente que esto pueda tener es algo que no puede dejar de ser observado.

El impacto en el suelo causada por la sepultura está afectando las características de estos, alterándolos con la presencia de metales, barnices y telas sintéticas, alterando así sus parámetros de calidad. Por otro lado, el cuerpo fallecido representa como tal un agente contaminante, debido a sustancias químicas que podría contener, agentes biológicos y patógenos.

Por su parte, la cremación no se absuelve de estos impactos, ya que se requiere una gran cantidad de energía para el proceso de incineración, emitiéndose gases de efecto invernadero. Las cenizas, al no contar con un proceso de separación de agentes externos a la naturaleza del cuerpo pueden representar otro agente de contaminación.

Es así como, la idea de la elaboración de una urna biodegradable se presenta como una alternativa más que interesante, ya que busca ofrecer una degradación limpia y mucho más corta que los métodos de sepultura actuales y no representar un impacto negativo en el suelo y medio ambiente.

La presente investigación tiene por objetivos describir las características de la urna biodegradable, en cuanto a la degradación de sus materiales y el comportamiento de los nutrientes en el suelo posterior a su implementación, siendo sumamente viable ambientalmente tanto en su elaboración como en su implementación.

La urna biodegradable cuenta con una capacidad rápida de degradación en comparación con los contenedores de sepultura convencionales, hecha con

residuos sólidos de distintas actividades, convirtiendo estos en materia prima útil amigable con el medio ambiente, que además contarán con propiedades de abono que nutrirán al suelo, y facilitarán el desarrollo y fortalecimiento de cualquier especie vegetal en el caso se desee plantar sobre esta.

La presente investigación se compone de los siguientes capítulos, planteamiento del estudio, marco teórico, metodología, resultados y discusión, finalmente, se presentan las conclusiones, lista de referencia y anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento del problema

Los métodos de sepultura, desde sus inicios, han tenido como objetivo principal ser una ceremonia importante a la muerte de un ser, siendo esta una etapa más a cumplir, generando con cada una de sus versiones impactos en el medio ambiente.

En Arequipa, estos han ido cambiando y los métodos de sepultura también, generando impactos ya no solo en el suelo, sino también el aire y agua, siendo un problema de importancia en la actualidad.

Cementerios tradicionales ante un desastre natural como un terremoto, corren el riesgo de causar diversas afecciones en la salud de las personas y el medio ambiente, generando malos olores, presencia de insectos, roedores, entre otros, haciendo de este un vector de enfermedades. Sabiendo que, 10 hectáreas de cementerio contienen 20 mil toneladas de hormigón, y una cantidad de madera como para construir 40 viviendas, un cementerio tradicional representa un gran consumo de materia prima (1).

Por otro lado, parques cementerios generan contaminación del suelo por metales, telas sintéticas entre otros materiales no biodegradables que componen los ataúdes. Así mismo, independientemente del área destinada para la sepultura, la deforestación es otro gran impacto ambiental, siendo la madera

materia prima para el diseño de ataúdes y las flores ornamentales utilizadas para decorar los mismos, siendo para la fabricación de un ataúd necesarios, por lo menos un árbol como materia prima, provocando que se pierdan 7,3 millones de hectáreas de bosques al año (1).

Por todo lo antes expuesto se formulan los siguientes problemas y objetivos.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

- ¿Cuáles son las características de la urna biodegradable como alternativa ambiental de sepultura, Arequipa, 2021?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo es la degradación de los materiales que componen la urna biodegradable como alternativa ambiental de sepultura, Arequipa, 2021?
- ¿Cuál es el comportamiento de los nutrientes en el suelo postsepultura de la urna biodegradable como alternativa ambiental de sepultura, Arequipa, 2021?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Describir las características de la urna biodegradable como alternativa ambiental de sepultura, Arequipa, 2021.

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la degradación de los materiales que componen la urna biodegradable como alternativa ambiental de sepultura, Arequipa, 2021.
- Analizar el comportamiento de los nutrientes en el suelo postsepultura de la urna biodegradable como alternativa ambiental de sepultura, Arequipa, 2021.

1.4. Justificación e importancia

1.4.1. Ambiental

La elaboración de una urna biodegradable será una alternativa de sepultura amigable con el medio ambiente, ya que estará elaborada a partir de materiales biodegradables que son residuos de distintas actividades económicas, reaprovechando estos como materias primas.

Por otro lado, ayudará en la preservación de árboles si se decide complementarlas plantando una especie arbórea.

1.4.2. Económica

La elaboración de la urna biodegradable no resultará muy costosa ya que tiene como materia prima residuos biodegradables, los costos serán más bajos al momento de su elaboración.

1.4.3. Metodológica

Esta investigación tiene como justificación metodológica que el procedimiento para la elaboración de la urna biodegradable puede volverse a replicar con el mismo fin, o en estructuras y productos diferentes.

Siendo así una eficiente opción ambiental como lo vienen siendo distintos productos hechos de estos materiales, siendo utilizados como materia prima de económica adquisición.

1.4.4. Importancia

La elaboración de urna biodegradable es una alternativa ambiental de sepultura en Arequipa. Es así como, brindará una nueva forma de dar el último adiós de una manera más amigable y consiente con el medio ambiente.

Además de ello, si se complementa la urna con la plantación de un árbol, se transformaría la muerte en una nueva vida y así contrarrestar la deforestación.

1.5. Limitaciones de la investigación

Se tuvo como limitación la disponibilidad de conseguir grandes cantidades de cáscara de huevo, por la coyuntura sanitaria actual a causa del Covid-19.

Es por lo que, ante cantidades limitadas de este residuo, se procedió a no reducir a polvo las cáscaras y en su lugar reducirlas en partículas pequeñas.

Por otro lado, ante las limitaciones de disponibilidad de laboratorios, se optó como alternativa comprar tiras rígidas indicadoras de pH, herramienta estandarizada y aplicada internacionalmente por los laboratorios.

1.6. Hipótesis

- Existen características en la urna biodegradable que la hace una buena alternativa ambiental de sepultura.

1.7. Variable

Urna biodegradable como alternativa ambiental de sepultura

- **Dimensión:** características a través del tiempo de degradación, comportamiento de los nutrientes en el suelo.
- **Indicadores:** número de días de degradación, variación de los nutrientes en meq/100 g de potasio, calcio y magnesio, mg/kg de nitrógeno y fósforo y pH.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Internacionales

En la tesis “*Estudio para el desarrollo de un biomaterial de cáscara de huevo*” realizada en Bogotá, tuvo como objetivo analizar las distintas alternativas de uso y aplicación de la cáscara de huevo como materia prima para la fabricación de productos y usos en distintos sectores de producción. Para ello, se realizó el análisis del uso de la cáscara de huevo en diferentes campos y así, mediante una prueba de ensayo y error elaboraron un plato biodegradable cuya materia prima es la cáscara de huevo y alginato de sodio grado alimenticio. Finalmente, realizaron un estudio económico para determinar la viabilidad de su prototipo, llegando a la conclusión de que producir un plato biodegradable es metodológicamente viable, siendo la viabilidad económica lo que indica lo contrario (2).

En la investigación “*Prototipo de urna funeraria ecológica elaborada con fibra de coco*” se tuvo como objetivo elaborar una urna biodegradable de fibra de coco para solucionar una problemática ambiental y social respecto a los impactos de los métodos de sepultura, el insuficiente espacio de los cementerios y la generación de residuos sólidos que no son reaprovechados como los residuos del coco. Para ello, realizó un

breve estudio de la cantidad, origen y predisposición de los negocios donde utilizaron el coco para brindar su residuo para su investigación. Es así como bajo un proceso de lavado y corte de las fibras en secciones de 3 cm crea una mezcla con un pegamento natural, la cual fue moldeada y puesta a secar a temperatura ambiente por una hora y treinta minutos. Finalmente, procedieron a evaluar la degradación de sus prototipos sometiénolos a tres distintas condiciones: bajo techo, bajo el suelo con dos riegos semanales, y en agua de río. Encontrando así que, las urnas bajo techo con condiciones de temperatura y humedad ambiente no presentaba rasgos de degradación, por el contrario, la urna sepultada presentaba un deterioro ligero, humedad y ablandamiento de su estructura al día 49 de su evaluación, así también la urna en agua de río presentó una considerable degradación y desintegración en la semana 2, cambiando las características de color del agua. Llegando a la conclusión de que sus prototipos cumplían de manera eficiente su propósito por su resistencia mecánica y durabilidad (3).

En la tesis "*Aplicación foliar de calcio en el cultivo de fresa (Fragaria sp.) obtenido a partir de cáscara de huevo de gallina (Gallus gallus)*" se tuvo como objetivo mejorar el aporte de nutrientes a los cultivos de fresa, mediante la aplicación de calcio proveniente de la cáscara de huevo de gallina. Para esto evaluó el comportamiento de dos dosis de calcio, en concentraciones del 20 % y 30 %. Encontrando en la segunda dosis un mejor rendimiento en el aporte de calcio en las hojas y el desarrollo floral de los cultivos. Siendo así una alternativa ambiental y económica óptima, ya que fortaleció las distintas partes de la planta, generando así su mejor crecimiento y producción de fresas (4).

En la tesis "*Propuesta de implantación de un cementerio ecológico en el vertedero clausurado de la Vall d'en Joan (Parque natural del Garraf)*" realizada en Barcelona, tuvo como objetivo demostrar su viabilidad a través del uso de las cenizas como fuente inicial para el crecimiento de un árbol. Así crear un cementerio ambientalmente responsable como alternativa a los cementerios tradicionales. Es así

como se realizó una evaluación de las cenizas, además de un proceso de encuestas realizadas a la población para medir su aceptación, un estudio del campo en donde se realizará el proyecto, y además un catálogo de especies arbóreas adaptables a la zona. De esta manera se encontró que es viable el proyecto con una aceptación total por parte de la población, pudiendo extrapolarse en otras áreas del país y así promover también su reforestación (5).

La tesis "*Plan de negocios para la producción y comercialización de urnas biodegradables en la ciudad de Quito*", cuyo objetivo fue analizar la viabilidad de producción y comercialización de urnas biodegradables que ayuden al medio ambiente. Realizó una serie de estudios del mercado en este sector, encontrando así que hay un límite de clientes a los que se les puede ofrecer el servicio, que va de la mano con la cantidad de población, y el rango de defunciones, además observó que la producción está limitada también por el número de funerarias y cementerios. Destacó que a pesar de las limitaciones el negocio de fabricación es muy rentable y sostenible con el paso del tiempo. Concluyó que este mercado de producción de urnas biodegradables es rentable a lo largo del tiempo, ya que las defunciones siempre serán permanentes (6).

La investigación "*Diseño industrial utilizando material biodegradable*" tuvo como objetivo elaborar una urna biodegradable y ecológica hecha de bioplástico cuya materia prima principal son los biopolímeros de origen vegetal. Para ello, los biopolímeros fueron obtenidos de las leguminosas mediante laboratorio. Las proteínas y el almidón fueron mezclados y moldeados al diseño de las urnas. Estos prototipos fueron sometidos a evaluaciones de resistencia mecánica y de absorción de agua. Adicional a ello, procedieron a evaluar el proceso de biodegradación de las urnas; evaluando su pH, relación C/N, emisión de CO₂, peso del material y evaluaciones microscópicas periódicas. Es así como encontraron un eficiente desempeño de la urna en cuanto a su tiempo de degradación, estética y resistencia como material de sepultura. Consiguiendo así una conciencia y responsabilidad ambiental que va más

allá de la muerte, presentándose como una opción óptima ante los métodos más comunes de sepultura (7).

En la tesis doctoral "*Gestión de cenizas como fertilizante y enmendante de plantaciones jóvenes de Pinus radiata*" cuyo objetivo fue elaborar un protocolo del uso de cenizas como solución y aporte de nutrientes a especies arbóreas de una determinada zona. Es así como se le da un valor como materia prima dejando de ser consideradas únicamente como residuos. Para lo cual, realizó un estudio de la zona forestal en la cual pondría en práctica los procedimientos planteados y un análisis de las características de las cenizas a utilizar y la dosis efectiva a aplicar. Así llevó a cabo su implementación, evaluando periódicamente su desempeño ambiental y su aporte nutricional, influyendo en el crecimiento de las especies. Los resultados que obtuvo fueron los esperados, las concentraciones de K, Ca, P y Mg aumentaron ligeramente, y de igual manera el pH. Por otro lado, la actividad microbiana del suelo también se incrementó, así como también el desarrollo de la flora arbórea, presentando un crecimiento dependiendo también de las condiciones del suelo en las que iniciaron el proceso (8).

La investigación titulada "*Desarrollo de tableros de silicato de calcio sostenibles: utilización de diferentes residuos sólidos*" buscó desarrollar bloques de silicato de calcio a partir de residuos como cáscara de huevo y cáscara de arroz para su uso en el sector de construcción como material ambiental y sostenible, pudiendo ser así una opción a la explotación de recursos medio ambientales para la obtención de materia prima para los mismos fines. Para ello, utilizaron cáscara de huevo calcinadas y cenizas de cáscara de arroz, ambas combinadas en un tiempo de 20 minutos estando en condiciones secas. Luego procedieron a añadir 15 % del peso total en agua para la mezcla, este proceso en un tiempo de 10 minutos y así finalmente dejaron curar y solidificar la mezcla en moldes de metal previamente engrasados en sus bordes interiores a temperatura ambiente por 24 horas. Al término del desarrollo de los bloques se evaluaron sus condiciones físicas como material para construcción, encontrando que

tenían buenas características en cuanto a su resistencia mecánica, baja conductividad térmica y baja densidad (9).

2.1.2. Nacional

La investigación “*Aplicación de cenizas de carbón para mejorar la estabilidad de suelos arenosos, Mz. I, Las Gardenias, Ancón, 2019*” cuyo objetivo fue demostrar la efectividad de las cenizas de carbón para estabilizar suelos arenosos. Partiendo de ese objetivo, se hizo una muestra en calicatas el suelo de estudio para evaluar sus condiciones iniciales. Luego de ello, aplicó las cenizas en concentraciones del 7 %, 14 % y 21 %. Antes de ello, las cenizas fueron limpiadas de cualquier tipo de impurezas en un tiempo de 7 días. Al término de su evaluación final de las condiciones del suelo, encontró que este había llegado a rangos más estables. Es así como demostró la efectividad de las cenizas para conseguir estabilizar suelos de características arenosas (10).

La tesis titulada “*Uso de la cáscara de huevo molida como material encalante en suelos ácidos del Perú*” tenía por objetivo demostrar la factibilidad en el uso de la cáscara de huevo como aportante de nutrientes y estabilizante del pH de los suelos ácidos del Perú, volviéndolos más alcalinos. Para ello, empleó cáscaras de huevo molida en dos distintos tamaños de partícula. Una tamizada y la otra no. Es así como procedieron a aplicar la ceniza en suelos de pH ácido en Jauja, Pangoa y Ucayali. Evaluaron periódicamente el pH del suelo, el decrecimiento de la acidez y el incremento de calcio, esto lo hicieron al día 45, 90 y 145 del inicio de la aplicación. Sus resultados fueron alentadores, encontrando un incremento en el pH a valores de 5, 5.5 y 7.5 en las tres ubicaciones. Es así como demostraron que es factible la aplicación de partículas de cáscara de huevo para estabilizar los suelos ácidos en distintas partes del país (11).

La investigación “*Servicio funerario orgánico de cremación para la región de Tacna, 2017*” tuvo como objetivo presentar una nueva opción para la disposición de los restos de los difuntos, en el cual las cenizas pueden quedar a manos de los familiares, contenidos en una urna o

dispuestos a la tierra, evitando así, los costos y la contaminación causada por cementerios convencionales al ambiente y a la población. Para ello, desarrolló estudios de antecedentes, análisis demográficos, físico espacial y físico biótico, hidrología, flora, medición de vulnerabilidad y riesgos, entre otros. Este servicio solucionará los problemas de espacio que hay en los cementerios, además de un aporte al cuidado del medio ambiente, siendo un servicio más limpio, utilizando materiales amigables con el medio (12).

La tesis “*Aplicación de cáscara de huevo en un suelo ácido de Atalaya para incrementar la producción Zea mays, 2018*” tuvo como objetivo evaluar la capacidad y viabilidad de la cáscara de huevo en el aporte de nutrientes y estabilización de pH de los suelos de Atalaya para tener un óptimo desarrollo en la próxima siembra de maíz. Para ello, redujo las cáscaras a partículas pequeñas de 0.125 mm y las aplicó en cantidades que variaron de 0 a 40 kg con 3 repeticiones cada una, teniendo como total 27 pruebas. De esta manera, al término de un periodo de 40 días de la aplicación, encontró que el pH del suelo había subido de 4.29 a 7.65 con la cantidad de 40 kg del huevo particulado, mostrando unas condiciones óptimas para el crecimiento del maíz sembrado un mes después. Llegando así a la conclusión de que la cáscara de huevo presenta las cualidades suficientes para mejorar la calidad del suelo destinado a cultivo (13).

El trabajo de investigación “*Urnas biodegradables para canes: Patitas en el Cielo*” cuyo objetivo fue evaluar si era viable una idea de negocio que consistiera en la venta de urnas biodegradables para canes elaboradas a base de fécula de maíz y bagazo de caña de azúcar. Para lo cual también contemplaron complementar la urna biodegradable con una planta y así hacer más fuertes los lazos entre los dueños y sus canes. Para ello, clasificaron las especies de plantas según su necesidad de luz solar, de acuerdo con ello, si las personas decidieran mantener la urna dentro de su hogar, se emplearía una urna cuya semilla sería de una planta de sombra, y si fuera en el jardín, lo contrario. Concluyeron que su

idea de negocio es viable, ya que es un mercado con crecimiento exponencial, debido a que la conciencia por el cuidado del medio ambiente está en crecimiento en los últimos años, al igual que el amor de los dueños por sus mascotas (14).

La tesis "*Cementerio ecológico en la ciudad de Ica*", tuvo como objetivo hacer de Ica un departamento con un cementerio ecológico compatible con sus paisajes y responsable con el contexto ambiental. Para realizar este diseño ejecutaron una amplia investigación de las características naturales y sociales del departamento, llevaron a cabo el reconocimiento de la zona en la que se realizaría este cementerio. La implementación de este cementerio ecológico en Ica tendrá un alto impacto, ambiental, social y económico, en el cual se verá beneficiado el medio ambiente, además de generar nuevas oportunidades de trabajo y mejorar el aspecto de la ciudad y la percepción de los cementerios (15).

2.1.3. Local

La tesis titulada "*Propuesta de implantación de un cementerio ecológico en la ciudad de Arequipa 2019*", tuvo como objetivo determinar la implantación de un cementerio ecológico para la ciudad, mediante evaluaciones socioeconómicas. Para ello, se estudió la alternativa europea de utilizar las cenizas para el crecimiento de un árbol, es así como identificó las zonas de peligro ante una erupción del volcán Misti, determinando así, la ubicación más viable para el cementerio, además de realizar encuestas para medir el grado de noción, concientización e interés de las personas a esta alternativa. Por otro lado, indagó estudios de especies arbóreas adaptables a Arequipa, así como los impactos causados por los métodos de sepultura tradicionales. Es así como, encontró al distrito de Sachaca como la mejor ubicación para implantar este proyecto, además de su viabilidad, económica y social, fomentando conciencia en las personas y una mejora en la calidad de vida y ambiental (16).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Cementerios tradicionales

Los cementerios tradicionales son regidos por el estado y la mayoría son comunitarios, además están gestionados por el gobierno regional o las autoridades locales que se encargan de dar un lugar a la disposición de un cuerpo fallecido (15).

Como ejemplo, aquí en Arequipa está el cementerio general “La Apacheta”.



Figura 1. Cementerio general “La Apacheta” (17)

2.2.2. Cementerios verdes

En su mayoría son privados, y brindan un espacio para la sepultura que pueden ser vendidos o alquilados. Gozan de un ambiente agradable, debido a la gran cantidad de áreas verdes en ellos. Ejemplos: “Jardines de Arequipa” y “Parque de la esperanza” en Arequipa.

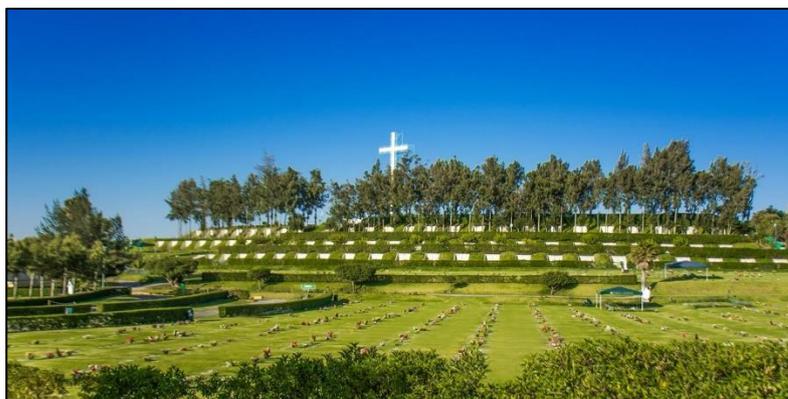


Figura 2. Cementerio "Parque de la esperanza" (18)

2.2.3. Tipos de cementerios verdes

En la actualidad, es muy común escuchar de los cementerios verdes, este tipo de cementerio trata de ser más amigable con el medio ambiente. La mayoría de estos cementerios necesitan que todo el material sea biodegradable, como las lápidas y los ataúdes, esto ayuda a preservar la tierra y promover prácticas sostenibles.

2.2.3.1. Parque cementerio

Es un término utilizado por las funerarias para denominar a los cementerios donde predominan jardines extensos, árboles, caminos y áreas verdes de descanso. Actualmente, son muy populares y en Arequipa se están desarrollando más de uno, como “El parque de la esperanza” o “Los jardines de Arequipa” que son cementerios que por sus áreas verdes brindan comodidad y bienestar con su ambiente natural y tranquilo (15).

2.2.3.2. Bosque cementerio

Europa, actualmente, intenta desarrollarse con una cultura más enfocada en el cuidado del medio ambiente, es así como, cambiaron el concepto de un cementerio, como un lugar sin plantas y árboles, ubicado en lugares descampados y con aspecto gris y tomaron como objetivo el cambio.

Es así como, en el 2003, los diseñadores italianos Anna Citelli y Raoul Bretzel referentes en el tema, proponen la creación de bosques, convirtiendo las sepulturas tradicionales en la plantación de un árbol que se alimentará de las cenizas del difunto, este método es llamado la “Cápsula Mundi” que busca ser una alternativa más amigable con el ambiente, respetando las características topográficas y de flora del lugar (19). Un claro representante es el “*Parc de Roques Blanques*” de Barcelona.

2.2.3.3. Cementerio ecológico

Esta idea surgió en España e Inglaterra, llegando a Latinoamérica en 2013, que consiste en el desarrollo de un cementerio amigable con el medio ambiente, respetando su entorno, con el propósito de proteger y enriquecer el paisaje, basándose fundamentalmente en la preservación y conservación del ambiente, presentando así nuevos métodos de sepultura. Un ejemplo claro de este tipo de cementerio es el “Bosque de la Vida” en Medellín (15).

2.2.4. Tipos de sepulturas y cremaciones amigables con el medio ambiente

2.2.4.1. Sepultura de cenizas en urnas biodegradables

La cremación es un método muy empleado en la actualidad, sobre todo en países que no son muy conservadores, se ha implementado filtros a hornos crematorios, lo que reduce el nivel de contaminación por gases y se ha aumentado el uso de urnas biodegradables fabricadas con sal, tierra o arena, las cuales se desintegran cuando están en contacto con el agua o la tierra, permitiendo que las cenizas se unan con el suelo. En algunos casos se introduce una semilla dentro para que forme un arbusto o árbol en el lugar de sepultura (20).

2.2.4.2. Sepultura en ataúdes sostenibles

Es un método que intenta utilizar un ataúd de madera o cartón reciclado, con el fin de evitar la tala de árboles, por otro lado, sus interiores no cuentan con telas sintéticas y la vestimenta es hecha con materiales biodegradables, el objetivo es minimizar el impacto que estos puedan tener el medio ambiente (20).

2.2.4.3. Esparcimiento de cenizas en el agua

Este ha sido un método de despedirse del difunto esparciendo sus cenizas en cuerpos de agua como mares, ríos o lagos, sin embargo, este no ha sido bien gestionado, causando

contaminación en aguas, por esta razón se ha optado el empleo de urnas biodegradables solubles en el agua, las cuales pueden estar compuestas de sales, entre otros materiales, que les permiten flotar en el agua por unos minutos para después disolverse y así sean depositadas las cenizas en lo más lejano a baja mar (15).

2.2.4.4. Promoción

Es un método mucho más limpio que la cremación, el cual consiste en someter al cuerpo inerte a muy bajas temperaturas que rondan los $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$, en las que el cuerpo debido a su gran contenido de agua queda en un estado de congelación para posteriormente ser sometido a vibración, reduciendo el cuerpo a pequeñas partículas, separando así las cenizas del agua del cuerpo. Luego, estas cenizas son tratadas para eliminar todos los metales pesados que puedan generar algún tipo de impacto como son el mercurio, entre otros metales que se puedan encontrar en dientes y demás, una vez las cenizas estén completamente limpias son depositadas a una urna biodegradable, que será sepultada en tierra a una profundidad de medio metro o al mar (21).

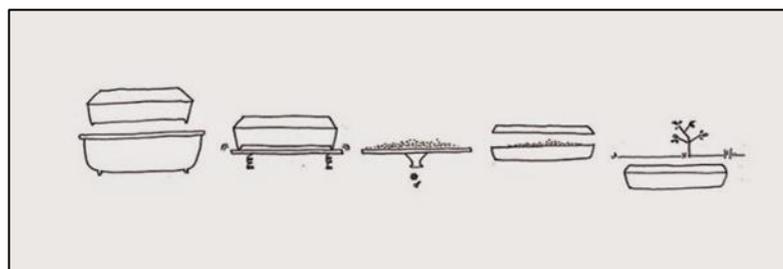


Figura 3. Proceso de promoción (22)

2.2.4.5. Resomación

Esta hidrólisis alcalina es un método escocés a la cremación convencional, el cual consiste en sumergir el cuerpo inerte en un compuesto de agua con hidróxido de potasio a $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ de temperatura (23).

De esta manera, el cuerpo y sus tejidos se disuelven, generando residuos fluidos que pueden ser tratados y drenados de manera apartada. Así mismo, este método ayuda a separar con mayor facilidad prótesis y otros componentes ajenos a la naturaleza del cuerpo. Los huesos son separados al igual que en la cremación y son dispuestos a un proceso llamado cremulación, en donde son triturados y convertidos en polvo para su mejor manejo al momento de disponerlos en urnas. Este método genera una tercera parte menos de gases de efecto invernadero al método de cremación, además de emplear 1/7 de la energía que es utilizada en el proceso convencional. Por otra parte, facilita la separación de prótesis dentales compuesta por mercurio (24).

2.2.4.6. Sepultura mediante trajes biodegradables

Adicionalmente, otro aporte a los métodos de sepultura más ecoamigables existe el proyecto de la diseñadora Jae Rhim Lee, que ha diseñado trajes y bolsas que reemplazarán a los ataúdes hechos de un material llamado “hongos come carne” que se encargan de descomponer rápidamente el cuerpo del cadáver, para evitar así cualquier tipo de impacto en el suelo (25).

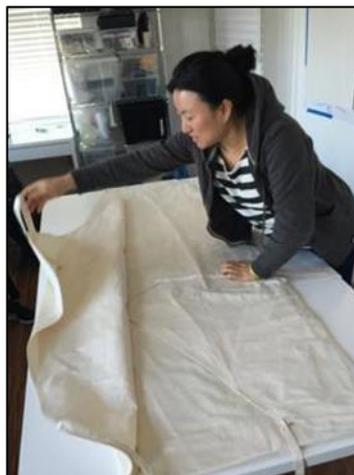


Figura 4. Diseñadora Lee y sus trajes ecológicos (25)

2.2.4.7. Sepultura de cápsulas biodegradables

La cápsula Mundi es un proyecto que consiste en la creación de una cápsula biodegradable que contendrá las cenizas de una persona muerta o el cuerpo entero. Esta cápsula será enterrada en el suelo junto con un árbol, teniendo un tiempo de desintegración entre uno a tres meses, dependiendo de las condiciones de humedad del suelo (23).

Fomentando así la reforestación y disminuyendo los impactos ambientales generados por los métodos de sepultura convencionales. Esta idea surgió en Italia por sus creadores Anna Citelli y Raoul Bretzel en el 2003 y llevaron a cabo la propuesta de creación de cementerios verdes en Italia en 2016. El propósito de esta tecnología es drenar y esterilizar el cuerpo para evitar el desprendimiento de fluidos que supongan un impacto en el suelo, pretende reducir el uso de materiales no biodegradables, como el mármol y el zinc, y reducir los servicios de cremación que no cumplen los límites permitidos y que son una de las causas del efecto invernadero, los gases desprendidos a la atmósfera, además de accionar contra la tala indiscriminada para la fabricación de ataúdes (19).



Figura 5. Esquema de funcionamiento de la Cápsula Mundi (26)

2.2.5. Urnas biodegradables

Es una tecnología de urna hecha con 100 % de materiales biodegradables y amigables con el medio ambiente, reduciendo así el impacto negativo en los suelos, estas contienen las cenizas de una persona o animal, que será sepultada en el suelo. Para ello, se colocan las cenizas en la parte inferior, seguida de una capa de tierra fértil y abono, luego se colocan las semillas del árbol o planta que se desea plantar, seguida de otra capa de tierra fértil y abono natural, una opción más eficaz si se trata de la plantación de un árbol, es que se siembre este, ya de un tamaño cercano a un metro y no como semilla, para reducir su vulnerabilidad a ser maltratado (27).

2.2.6. Material biodegradable

Son aquellos de origen natural, suelen ser orgánicos, por lo tanto, se degradan con el calor del sol, la lluvia, los hongos, el viento, la humedad y las bacterias. Cuando la materia orgánica se descompone devuelve energía y materiales al suelo. De este modo, estos materiales pueden ayudar como abono para que crezcan nuevos árboles (28).



Figura 6. Proceso de biodegradación (29)

2.2.6.1. Tipos de materiales biodegradables

Algunos pueden ser la madera, semillas, cartón, paja, tejidos naturales (lana), residuos de alimentos (cáscaras), plantas (hojas, ramas), papel, aserrín, algunos detergentes, residuos de la industria vitivinícola, pesquera y del azúcar, guano, etc.

2.2.7. Abonos orgánicos

El uso de fertilizantes químicos ha ocasionado un deterioro en las características del suelo y en la calidad ambiental de estos como también en la salud de las personas. Esto sucede, ya que en la agricultura se han visto obligados a emplear cada vez más fertilizantes químicos para cumplir con la alta demanda de alimentación por la población y porque los suelos tienden a reducir su calidad, volviéndose dependiente de estos químicos para ser aptos para el cultivo. Es por lo que los abonos orgánicos son una opción más responsable con el bienestar de las personas y del suelo como tal, teniendo como principal característica su aportación de nitrógeno, fósforo y potasio necesarios para el desarrollo óptimo de cualquier tipo de cultivo (30).

Han sido usados desde los inicios de la agricultura, contribuyendo a la disminución de contaminación del suelo, ya que son naturales, algunas de sus ventajas son las siguientes:

- Son los más respetuosos con el medio ambiente.
- Proporcionan a las plantas y microorganismos los elementos necesarios para su supervivencia.
- Mejoran la estructura, permeabilidad y textura del suelo.
- Favorecen las descompensaciones de pH.
- Mejoran la capacidad para absorber agua.
- Requieren menos gasto energético que los industriales, ya que suelen producirse en zonas cercanas.
- Pueden reducir y controlar los agentes patógenos del suelo (31).

2.2.8. Tipos de abonos orgánicos

2.2.8.1. Harina de huesos

Esta harina proviene de los huesos de animales, que mediante un proceso son limpiados y convertidos en polvo. Este sirve de abono rico en fósforo y muy útil en época de floración. Este residuo se utiliza como abono natural en los suelos, debido a que

contiene dos de los más importantes nutrientes que necesita el suelo, que son el fósforo y el calcio. Por otro lado, también es utilizado como suplemento alimenticio para animales de granja (32).

2.2.8.2. Algas marinas

Son una muy buena fuente de fertilidad para las plantas, esto se debe a que son muy ricas en minerales y oligoelementos, además su aplicación es muy sencilla, pero de un alto costo, no obstante, muy fáciles de encontrar en tiendas de jardinería (33).

2.2.8.3. Cenizas

Las cenizas son un importante abono natural para el suelo, estas provienen de materia orgánica, y si bien no contienen nitrógeno, tienen otros minerales alcalinos que ayudan a corregir el pH del suelo alcalinizándolo (34). Las cenizas provenientes de la combustión de flora contienen importantes cantidades de fósforo, potasio, magnesio y calcio (35).

2.2.8.4. Posos de café

Los posos de café tienen una función diferente a las cenizas, estos vuelven el pH del suelo más ácido, además contienen nitrógeno, fósforo y potasio y sirven también de alimento para las plantas (36).

2.2.8.5. Cabello humano y pelo animal

En ambos casos, representan un importante aporte de nutrientes para el desarrollo foliar y crecimiento de cualquier especie vegetal, además posee cualidades como herbicida (37).

Dentro de sus características químicas está compuesto de carbono, oxígeno, hidrógeno, azufre y muy rico en nitrógeno. De esta forma, ayuda a la actividad microbiana del suelo. Debido a

esto existen industrias que lo comercializan con fines agrícolas (38).

2.2.8.6. Cáscaras de huevo

Aportan al suelo principalmente calcio, para su mejor uso, antes tienen que ser tratadas, es decir que son calentadas en un horno, para que a altas temperaturas se descompongan fácilmente y sean reducidas a polvo (39).

a) Características y propiedades que hacen relevante a la cáscara de huevo

El huevo de gallina es una de las principales fuentes de alimentación para la población, y está presente en las distintas industrias que lo utilizan como insumo en sus procesos. Es así como, las grandes cantidades de huevo utilizadas generan como resultado enormes cantidades de residuos. Estos residuos son enviados a vertederos, causando malos olores y siendo un vector de plagas. Para ello, existen diversas tecnologías y métodos de aplicación de la cáscara de huevo mediante su reaprovechamiento. Como lo es para la producción de insumos en el sector construcción, su empleo en el área de la odontología, su aplicación en procedimientos quirúrgicos como son los injertos óseos, como fuente de alimentación animal, para la producción de biodiesel, para su aplicación como fertilizante para las plantas y la producción de tabletas de leche como fuente alimenticia (40).

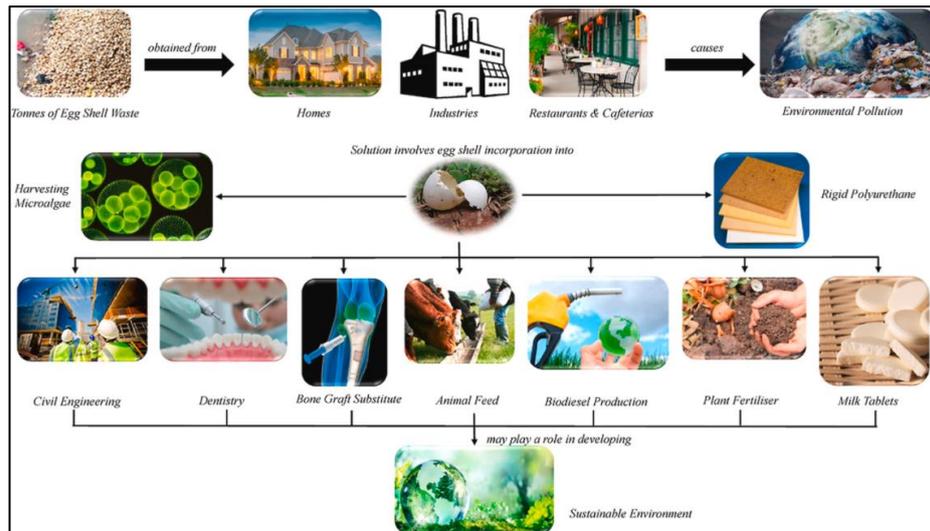


Figura 7. Generación y reaprovechamiento de la cáscara de huevo (40)

Este residuo tiene un tiempo de degradación entre 6 meses a un año y representa entre el 9 % al 12 % del peso del huevo como tal, a su vez este está compuesto de 2 % de agua y 98 % de materia sólida. La cáscara de huevo contiene calcio, magnesio, manganeso, boro, cobre, hierro, molibdeno, azufre, silicio y zinc. Por otro lado, esta tiene como componente principal carbonato de calcio (2).

Tabla 1. Componentes de la cáscara de huevo

	Polvo de cáscara de huevo blanca	Polvo de cáscara de huevo marrón
Humedad (%)	0,46	0,2
Proteína (%)	3,92	5,04
Ceniza (%)	94,61	94,28
Calcio (%)	34,12	33,13
Magnesio (%)	0,29	0,36
Fósforo (%)	0,04	0,07
Potasio (%)	0,03	0,04
Sodio (%)	0,05	0,04
Cobre (ppm)	< 1ppm	< 1ppm
Hierro (ppm)	22 ppm	< 1ppm
Manganeso (ppm)	< 1ppm	< 1ppm
Zinc (ppm)	< 1ppm	< 1ppm

Nota: tomada de Ray et al. (41)

2.2.9. Nutrientes necesarios para el desarrollo de una planta

Toda especie de flora necesita de nutrientes para desarrollarse correctamente al igual que los animales. Estos nutrientes se clasifican según su cantidad necesitada, siendo requeridos en mayor cantidad los

macronutrientes, los cuales son el nitrógeno, fósforo y potasio. Por otro lado, están los nutrientes secundarios, los cuales comprenden el calcio, magnesio y azufre. Finalmente, los micronutrientes, necesitados en cantidades más pequeñas, como son el zinc, hierro, cobre, boro, manganeso y molibdeno (42).

2.2.9.1. Nitrógeno

Nutriente esencial, absorbido por las raíces en forma de amonio o nitrato. Indispensable para el fortalecimiento de la estructura de la planta, su crecimiento y producción. Proporciona aminoácidos, ácidos nucleicos y proteínas. Presente en la clorofila, siendo un factor en su formación (42). Se caracteriza por ser móvil tanto en el suelo como dentro de la planta, además de ser muy importante en su relación con el carbono (43).

2.2.9.2. Fósforo

Nutriente absorbido por la raíz como fosfato monovalente o divalente. Muy necesario en la formación de brotes y yemas. Forma parte del ATP, necesario como fuente de energía para los distintos procesos bioquímicos de la planta. Ayuda a la formación del sistema radicular, y genera una mejor maduración de los frutos y una mayor coloración de estos (42). Presenta una gran movilidad dentro de la planta, concentrándose en las semillas y otras partes de la planta. Es muy importante para la respiración y la fotosíntesis de la planta, además de aportar aminoácidos y proteínas (43).

2.2.9.3. Potasio

Es absorbido por la raíz como catión de potasio. Interviene en la calidad de los cultivos y su sanidad combatiendo posibles enfermedades. Activa los sistemas enzimáticos necesarios para la producción del cultivo. Tiene gran movilidad, es así como ayuda al traslado de azúcares necesarios para todas las partes de la planta provenientes de las hojas (42).

2.2.9.4. Calcio

Nutriente secundario absorbido como catión de calcio por la raíz, ayuda en el fortalecimiento de las paredes celulares, e influye en el desarrollo de las hojas y raíz (42). No tiene por característica ser móvil a diferencia de los tres macronutrientes principales, acumulándose en las hojas y siendo componente significativo en los tejidos vegetales (43).

2.2.9.5. Magnesio

Es encontrado por las raíces como catión de magnesio, participa en la fotosíntesis y activa las enzimas para la respiración de las células vegetales. Además, incita el desarrollo de las semillas y es un componente de la clorofila (42). Se caracteriza al igual que el calcio, por su menor movilidad (43).

2.2.9.6. Azufre

Es encontrado por las raíces de la planta como anión sulfato. Conformar las proteínas y aminoácidos sulfurados. Las necesidades de este nutriente dependen de la especie, generalmente se les considera más necesarios en los distintos cultivos, no siendo de la misma importancia en especies arbóreas y arbustivas (42). Al igual que los otros dos nutrientes secundarios se caracteriza por ser muy poco móvil (43).

2.2.10. Relevancia de la capacidad de intercambio catiónico en la nutrición del suelo

Se llama así, a la capacidad que presenta un suelo para asimilar iones de una fase acuosa e intercambiar estos con iones de carga negativa presente en sus partículas durante los desequilibrios eléctricos que presenta en suelo (mayormente aumenta en presencia de arcilla o materia orgánica), estos elementos de carga positiva presente en la disolución, se llaman cationes. Como lo son el Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , entre otros. Estos, por sus cargas opuestas se atraen, transformándose de disponibles a cambiables o intercambiables. Es así como quedan en un

estado asimilable, como reserva de nutrientes cuando la planta los necesite (44).

Estos nutrientes al estar retenidos favorecen a que no se pierdan por lixiviación. El pH tiene un papel importante en este proceso, un alto o bajo pH puede hacer que algunos cationes pierdan su capacidad de intercambio con el suelo y acaben siendo lixiviados. Por ello, el pH óptimo para el intercambio catiónico es de 6.5. Además de ello, el exceso de ciertos iones puede desplazar a otros nutrientes, tal es el caso del magnesio, que puede disminuir su presencia en la CIC al ser desplazado por un exceso de cationes de potasio (45).

Por otro lado, cabe mencionar la existencia del intercambio aniónico, este proceso sucede en una medida mucho menor en comparación con el intercambio catiónico. Lo caracteriza el intercambio de las cargas positivas que haya en las partículas del suelo, con elementos de carga negativa en la solución, tales como el ácido fosfórico $H_2PO_4^-$, fosfato de hidrogeno HPO_4^{2-} y el nitrato NO_3^- . (46).

2.2.11. Efectos negativos del entierro y la cremación

2.2.11.1. El entierro

Los entierros representan un impacto más grave al medio ambiente, ya que contribuye a la deforestación, por la tala excesiva de árboles para la fabricación de ataúdes, producidos con una vida útil muy corta, ya que serán dispuestos a entierro.

Se sabe que 10 hectáreas de cementerio contienen 20 mil toneladas de hormigón, y una cantidad de madera como para construir 40 viviendas (47), lo cual sabiendo que, para un ataúd se necesita por lo menos un árbol, se llega a la conclusión de que se pierden 7.3 millones de hectáreas de bosques al año (1) .

La conservación del cuerpo a través de líquidos de embalsamiento compuestos por formaldehído que reemplaza la

sangre del difunto hace que la degradación de este sea lenta, hasta unos 15 años, sustancia que representa un factor contaminante para el agua y suelo, considerado cancerígeno por la Organización Mundial de la Salud (48).

Este tipo de sustancias llamadas necrolixiviados, pueden llegar al agua subterránea a través de infiltración, afectando así su calidad, este es un aspecto por tomar en cuenta, ya que un cadáver puede generar hasta 40 litros de este lixiviado (49).

Estos lixiviados están compuestos de elementos químicos como el fósforo, potasio, azufre, calcio, sodio, carbono, nitrógeno, magnesio, cloro, hierro y agua. Además de metales pesados y microorganismos patógenos como las bacterias y los virus (50).

Por otro lado, se generan otros impactos causados por las lacas y barnices utilizados en el ataúd, además de poliéster y telas sintéticas generando emisión de dioxinas y dióxido de carbono a la atmósfera (1). Otros gases que se emiten a la atmósfera son producidos por el mismo cuerpo durante su descomposición, estos pueden ser amonio, monóxido de carbono, dióxido de carbono, metano, ácido sulfhídrico, fosfato entre otros (51).

En el mundo mueren 155 520 personas por día (52). En el Perú el promedio de muertes entre el 2000 y 2019 es de 142 493 defunciones, teniendo como año con mayor mortalidad el 2019 con 188 043. Sin embargo, en el contexto actual en el cual el país enfrenta su peor crisis sanitaria a causa del Covid-19 el número de muertes aumenta en 200 554 muertes al promedio, anteriormente mencionado desde el arribo del virus al país (53).

Con la información, respecto a la cantidad de árboles usados como materia prima, se puede estimar que en un año se talan

284 986 sin tener en cuenta que se ofrecen al menos 4 modelos de ataúd por persona fallecida.

2.2.11.2. La cremación

La cremación es una opción de disposición de un cadáver con un impacto menor en el medio ambiente, en comparación con el entierro, además de ser más económico.

La cremación es un proceso de sometimiento del cuerpo a temperaturas entre 870 y 980 °C, condiciones en las cuales el cadáver es reducido a cenizas (1). Este proceso dura entre una y cinco horas y utiliza gas natural para la combustión, se estima que para un cuerpo se gasta 92 metros cúbicos de gas natural; es decir, se está consumiendo tanta energía como la que necesita un auto para recorrer 800 km (1).

En las cenizas se encontrarán también materiales como el cromo, plomo, cobalto y estaño, además la cremación emitirá a la atmósfera vapor de agua, monóxido de carbono y dióxido de azufre, gases que contribuyen al efecto invernadero. Más allá de eso también se emite una sustancia muy peligrosa para la salud y altamente volátil como es el mercurio, en la cremación se desprende 0.8 a 5.9 gramos de mercurio, esto sucede entre los 35 y 45 minutos de iniciada la cremación (1).

Como se mencionó, en el proceso de cremación se desprenden monóxido de carbono, dióxido de azufre y mercurio, teniendo también emisiones de óxido de nitrógeno y cloruro de hidrogeno, como las principales emisiones por esta actividad (16).

El monóxido de carbono es producido por la combustión incompleta en la incineración, causada por la falta de presencia de oxígeno en esta, el dióxido de azufre presente en los restos incinerados, ya que el sulfuro es el octavo elemento con más

presencia en el organismo, al igual que cloruro de hidrógeno, ya que el 25 % del organismo está compuesto de él. Se estima que este proceso necesita 20 litros de aceite y desprende 25 kg de CO₂ (54).

2.2.12. Composición de las cenizas y su aprovechamiento como fertilizante

En los últimos años, la cremación como alternativa para rendir tributo a un difunto, ha tomado popularidad, siendo cada vez más empleada. No obstante, existen algunos mitos sobre lo que pueden ocasionar las cenizas funerarias en el medio ambiente, ya que se sospecha que estas puedan ser tóxicas. Esto es falso, se ha comprobado que las cenizas son grandes fertilizantes, tanto para el suelo como para el medio acuático, siempre y cuando el proceso de incineración cumpla con estándares ambientales y de salud.

Este falso rumor ha sido extendido por empresas funerarias que pierden ingresos cuando las cenizas no son depositadas en un cementerio y, por lo contrario, son vertidas en campos, cuerpos de agua o guardadas en los hogares. Por otro lado, la iglesia católica prohibió a sus fieles, el desprendimiento de las cenizas de sus difuntos o que estas permanezcan con ellos, argumentando que el único destino para ellas debe ser un campo santo.

En el proceso de cremación se obtiene aproximadamente el 3.5 % del peso original del cuerpo, por lo tanto, en un cuerpo adulto de 70 kg se obtendrán 2.45 kg de cenizas, estas están en su mayoría compuestas por fosfato cálcico, exactamente por hidroxiapatita, el mineral que compone los huesos (55).

Postincineración, luego de liberar el cuerpo de cualquier material, sustancia o agente externo a su composición natural, en las cenizas están presentes fosfatos, sulfatos, calcio, potasio, carbonatos, celulosa y taninos (56).

Las cenizas, son un material inerte, por lo cual no son residuos tóxicos, es decir no representan un peligro para el ambiente. Por el contrario, es un gran fertilizante al igual que las cenizas obtenida por la incineración de madera, debido a su riqueza de nutrientes (54).

Es por lo que en la presente investigación se emplea las cenizas juntamente con otros materiales biodegradables para ser una alternativa ambiental de sepultura.

2.2.13. Clima de Arequipa

La región de Arequipa presenta diversos climas. Es cálido en la costa, los sectores cercanos al mar presentan un clima muy húmedo, con garúas causadas por la humedad, con temperaturas entre los 14 °C y 27 °C o 10 °C y 35 °C en otros sectores. A mil metros de altitud, el clima varía de cálido a templado, templado-frío y frío; la variación de la temperatura es notoria entre el sol y la sombra y entre el día y la noche. El clima estrictamente de la ciudad de Arequipa varía entre los 27 °C como temperatura máxima y 7 °C como temperatura mínima en el último año (57).

2.3. Definición de términos básicos

- **Ataúdes biodegradables:** son ataúdes fabricados con 100 % de materiales biodegradables como cáscaras de papa, yuca, de plátano, de arroz, etc., como bagazos y hojas secas, reduciendo así el impacto en el medio ambiente (27).
- **Creación:** es la incineración del cuerpo inerte de una persona, reduciéndolo a cenizas, este servicio cuenta con un certificado y las cenizas son dispuestas a una urna (27).
- **Demografía:** es el estudio de la población, observando sus características y estructura (58).

- **Capsula:** se define así a una envoltura cilíndrica o esférica que es de materia soluble, que contiene alguna sustancia en su interior, en su mayoría medicamentos (59).
- **Arbórea:** se refiere al árbol, su forma, todas sus partes y su especie (60).
- **Permeabilidad:** es la capacidad que tiene el suelo para transmitir agua y aire a través de él, teniendo gran capacidad de absorción (61).
- **Urna:** recipiente o caja de piedra o de metal que se utiliza para guardar ciertas cosas, como dinero, joyas o las cenizas de las personas muertas (58).
- **Efecto invernadero:** subida de la temperatura de la atmósfera que se produce como resultado de la concentración en la atmósfera de gases, principalmente dióxido de carbono (62).
- **Toxicidad:** capacidad propia de una sustancia de producir efectos adversos en un organismo vivo (63).
- **Fertilizante:** cualquier sustancia orgánica o inorgánica que brinda nutrientes al sustrato en especial NPK, mejorando su calidad para el desarrollo de cualquier especie vegetal (64).
- **Salinidad:** cualidad de salino, concentración de sales en el suelo o en un cuerpo de agua (58).
- **Clima:** se refiere al estado más frecuente de la atmósfera en una determinada superficie terrestre, mediante un análisis estadístico se reconoce las condiciones meteorológicas más comunes de un determinado lugar, por periodos de tiempo (65).
- **Reforestación:** es repoblamiento o plantación de especies arbóreas o arbustivas, nativas o exóticas, con fines de producción o conservación en

materia ambiental, siendo realizada en suelos que tuvieron o no vegetación (66).

- **Impacto ambiental:** es la alteración del medio ambiente, ya sea positiva o negativa, a causa de factores naturales o antropogénicos que interactúan con él (67).
- **Sepultura:** se define así a la acción de cavar en el suelo para enterrar algo bajo tierra, el uso más común es al referirse al entierro de una persona (58).
- **Suelos ácidos:** son suelos que presentan un pH menor a 5.5 generalmente, los cuales carecen de las mejores condiciones para el desarrollo de flora (68).
- **Suelos alcalinos:** son los suelos que presentan un pH mayor a 8.5, se caracterizan por tener sodio en exceso. Son propios en zonas áridas y semiáridas (69).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método, tipo y alcances de la investigación

3.1.1. Método de la investigación

La presente investigación corresponde al método científico deductivo, ya que se basa en antecedentes para señalar alternativas aplicables como solución a los métodos de sepultura convencional.

3.1.2. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada con enfoque cuantitativo y alcance descriptivo.

3.1.3. Nivel de investigación

La investigación desarrollada presenta un nivel descriptivo, ya que describe el comportamiento y desempeño de la urna biodegradable a través del tiempo y estimó, a través de los indicadores formulados, su comportamiento en la estabilización y en los nutrientes en el suelo.

3.1.4. Diseño de investigación

La presente investigación tiene un diseño no experimental de corte transversal, teniendo por propósito caracterizar el desempeño de biodegradación de los materiales seleccionados y analizar el

comportamiento de los nutrientes y pH del suelo postsepultura de la urna biodegradable.

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Ubicación geográfica

La aplicación de la urna biodegradable como alternativa ambiental de sepultura, se llevó a cabo en el distrito de José Luis Bustamante y Rivero, el cual está ubicado a 2310 m s. n. m., con 16°25'04" de latitud sur y 71°31'48" de longitud oeste (70).

Tiene una extensión territorial de 14.06 km², limitando de la siguiente manera:

- Por el Norte y Noroeste limita con el distrito de Arequipa.
- Por el Sureste limita con los distritos de Sabandía y Characato
- Por el Sur y Suroeste limita con los distritos de Socabaya y Hunter.
- Por el Este limita con el distrito de Paucarpata (70).



Figura 8. Ubicación geográfica del distrito de José Luis Bustamante y Rivero (70)

3.2.2. Población y muestra

3.2.2.1. Población

Se tiene como población todos los residuos y materia orgánica capaz de ser utilizada como materia prima para la elaboración de productos biodegradables.

3.2.2.2. Muestra

Como muestra, la investigación está centrada en el uso de la cáscara de huevo como materia prima principal para la elaboración de la urna biodegradable por sus capacidades de degradación y desempeño al momento de su elaboración e implementación.

3.2.3. Evaluación preliminar de las condiciones iniciales del suelo

Se realiza un muestreo para analizar las condiciones iniciales en las que se encuentra el suelo antes de la sepultura de las urnas biodegradables. Siendo así los parámetros químicos de mayor relevancia y necesidad los macronutrientes nitrógeno, fósforo, potasio esenciales para cualquier especie vegetal, elementos secundarios como el calcio y magnesio y pH indicador determinante de las condiciones del medio. No se considera el azufre y los micronutrientes, debido a que estos no son tan relevantes para esta investigación como los anteriores nutrientes mencionados. Para ello, se hace una limpieza de la zona a muestrear para evitar ramas, piedras y otros residuos. Luego se hace la limpieza de la pala con agua destilada, así posteriormente comprobando con una cinta métrica, se procede a excavar 20 centímetros de profundidad en cada punto destinados a la sepultura de las urnas. Se procede a tomar las premuestras. Luego de obtenidas las tres premuestras, se combinan de manera aleatoria en una batea y se procede a tomar 1 kilogramo aproximadamente de muestra final mediante la técnica de cuarteo, para finalmente ser conservada bajo refrigeración de ser necesario y llevada a analizar (71).

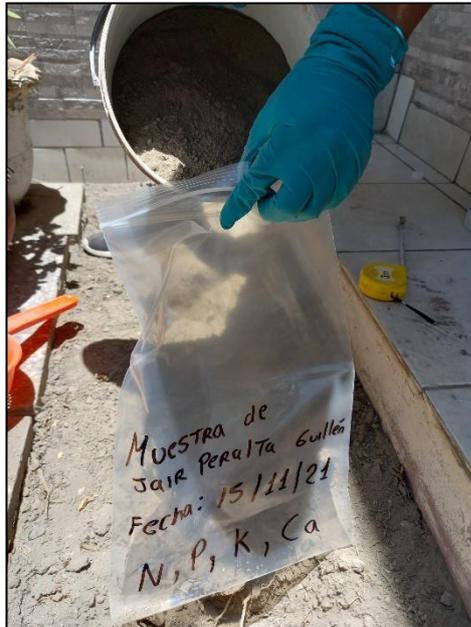


Figura 9. Muestreo inicial del suelo destinado a las urnas biodegradables

Paralelamente a ello, se realiza la primera evaluación de pH del suelo de un control que se llevará a cabo periódicamente cada 15 días.

3.2.4. Elección de los materiales biodegradables para la elaboración de la urna

Se investiga los principales materiales biodegradables con cualidades beneficiosas para el suelo y el desarrollo de cualquier especie arbórea, floral y arbustiva tales como nitrógeno, potasio, fósforo, calcio, magnesio y estabilización del pH del suelo.

Mediante una experiencia previa utilizando cáscara de huevo, panca del choclo y cáscara de plátano para la elaboración de 3 prototipos de urna; se llegó a la conclusión de que la urna hecha de cáscara de huevo presentaba mejores cualidades de degradación, estética y accesible adquisición que los otros dos materiales, así también por su contenido de calcio, potasio, fósforo y magnesio (8).

Es así como, en la presente investigación, la cáscara de huevo es la materia prima principal para la elaboración de las urnas biodegradables.



Figura 10. Cáscaras de huevo recolectadas

3.2.5. Elaboración de la urna biodegradable

Paso 1: se recolectan cáscaras de huevo siendo residuos propios de las pastelerías de la ciudad, pelo de mascotas obtenido de clínicas veterinarias, cenizas como residuo obtenido de la actividad panificadora y posos de café como residuo doméstico al igual que las cáscaras de huevo anteriormente mencionadas.

Paso 2: luego de la recolección de la materia prima, la cáscara de huevo siendo un residuo húmedo, se precisa secar, en la investigación de Beltrán et al. (2) realizaron este proceso en un horno a 105 °C durante 15 minutos. Sin embargo, en esta investigación se opta por dejar expuestas al sol las cáscaras de huevo aproximadamente un día completo, y luego se trituran manualmente o mediante un batán hasta reducirlas en partículas pequeñas para una mejor manipulación y un mejor desempeño de biodegradación.



Figura 11. Reducción de la cáscara de huevo a partículas pequeñas

Paso 3: se realiza la mezcla con las cantidades posteriormente detalladas que fueron obtenidas de manera empírica, a través de la prueba y error, debido a que no existe actualmente material bibliográfico el cual pueda ser una referencia para este procedimiento. En una bandeja se lleva a cabo la mezcla de los materiales para la elaboración de la estructura de las urnas, estos son:

La chía, utilizada por sus propiedades mucilaginosas que al contacto con el agua muestra características similares a la goma (72). De esta manera, las partículas de cáscara de huevo quedan pegadas entre sí, formando la estructura sólida en la urna.

De la misma manera, la grenetina posee cualidades como adhesivo y sellador natural (73). Compuesta principalmente en un 80 % por proteína, y 20 % en sales (74).

Finalmente, bicarbonato de sodio por sus propiedades alcalinas y como sellador de grietas cuando se usa juntamente con pegamento (75).

La cantidad empleada para la elaboración de cada urna se realizó de la siguiente manera:

Tabla 2. Cantidad de material biodegradable necesario para cada urna

Cantidad empleada por urna biodegradable	
Material	Cantidad
Cáscara de huevo	600 g
Chía	250 g
Agua	300 mL
Bicarbonato de sodio	30 g
Grenetina	30 g

Paso 4: obtenida la mezcla, se procede a engrasar los moldes metálicos para que la masa formada no se adhiera fuertemente a su superficie y pueda ser fácilmente retirada la urna en su desmolde (3).

Paso 5: una vez engrasados los moldes metálicos se procede a moldear la urna a las paredes externas del molde, de tal forma que adquiriera una forma cilíndrica, con un grosor de sus paredes de 2 cm.

Paso 6: se continúa trabajando en este proceso aproximadamente 60 minutos bajo el sol. Se requiere de este tiempo de moldeado bajo el sol, debido a que mediante prueba y error se encontró que someter a las urnas biodegradables inmediatamente a altas temperaturas en el horno conlleva una deformación de estas. Caso contrario a lo que sucede si previamente a ello se continúa trabajando en su forma periódicamente en el transcurso de los 60 minutos en su exposición a la luz solar.



Figura 12. Moldeo manual de la urna biodegradable

Paso 7: se colocan las urnas al horno a 250 °C por un tiempo de 45 minutos.

Este procedimiento no se encontró en ninguna fuente bibliográfica, sin embargo, se intentó a diferentes temperaturas en distintos periodos de tiempo y el mejor resultado en la solidificación de la estructura de las urnas biodegradables fue bajo estas condiciones.



Figura 13. Exposición a altas temperaturas para la solidificación de la urna biodegradable

Paso 6: se separan las urnas biodegradables de sus moldes cuidadosamente. Luego se procede a la grenetina conocida ampliamente por sus cualidades como sellador natural. De esta manera, se mezclan 75 g de grenetina con 250 ml de agua, se aplican y se guardan bajo refrigeración aproximadamente 8 horas. Las cantidades de mezcla y el tiempo de refrigeración fueron determinadas de manera empírica al no disponer de material bibliográfico guía para este procedimiento.

En la fabricación de la urna biodegradable (76), se aplicó una disolución de 750 gramos de sémola de trigo en un litro de agua, a la cual se le podía agregar cualquier tipo de colorante natural, de manera que les diera estética y protección a las paredes de su urna. En la presente investigación no se opta por ello, debido a las características previamente mencionadas de la grenetina, y el color estético propio de la cáscara de huevo.



Figura 14. Urna biodegradable presellamiento

3.2.6. Complementación de la urna biodegradable con materiales biodegradables adicionales

Se rellena por capas las urnas biodegradables de la siguiente manera:



Figura 15. Formación de capas de material complementario

Tabla 3. Distribución de las capas internas de la urna biodegradable

Distribución de capas internas		
N.º	Material	Cantidad
7. ^a	Tierra	120 g
6. ^a	Ceniza	60 g
5. ^a	Poso de café	120 g
4. ^a	Ceniza	120 g
3. ^a	Tierra	120 g
2. ^a	Pelo	120 g
1. ^a	Tierra	120 g

De esta manera se emplea la siguiente cantidad de material biodegradable complementario:

Tabla 4. Cantidad de material biodegradable complementario

Cantidad empleada por urna biodegradable	
Material complementario	Cantidad
Cenizas	180 g
Poso de café	120 g
Pelo	120 g

La distribución y cantidades del material biodegradable complementario de la urna biodegradable fueron determinados de manera empírica, buscando la mejor distribución, para obtener un buen

comportamiento en el proceso de degradación y de nutrientes en el suelo donde se aplicó la urna.

3.2.7. Sepultura de la urna biodegradable

Paso 1: se procede a realizar 3 excavaciones de 30 cm. Esta profundidad es considerable de acuerdo con el tamaño de las urnas (20 cm aproximadamente), dejando 10 cm de suelo sobre ellas para que de esta forma no estén directamente expuestas al exterior y sea una distancia prudente para la plantación de cualquier especie floral.



Figura 16. Profundidad excavada destinada a las urnas biodegradables

Paso 2: se cubre los espacios entre el suelo excavado y las paredes de la urna y se delimitan con palillos, con la finalidad de que, al realizarse las evaluaciones periódicas, estas no resulten dañadas al momento de la excavación.



Figura 17. Sepultura de las urnas biodegradables

Paso 3: cubiertos los primeros 20 cm de suelo, se podría plantar la especie arbórea, de tal forma que la base de su tallo este al mismo nivel que la superficie del suelo. En esta investigación con fines netamente representativos se procedió a plantar un eucalipto que fue retirado posteriormente para continuar con el proceso de evaluación.



Figura 18. Plantación de la especie arbórea Eucalyptus

Paso 4: al finalizar la sepultura, se procede a realizar el primer riego (4 litros de agua), el cual se ejecutará dos veces por semana (3).



Figura 19. Riego periódico del suelo

3.2.8. Evaluaciones periódicas del pH del suelo y la biodegradación de la urna

La evaluación de pH y proceso de biodegradación se realiza de manera periódica en 6 y 5 ocasiones respectivamente, llevando un registro de las condiciones encontradas en el suelo y las urnas.

Se realiza de la siguiente manera:

Paso 1: se excavan los 3 puntos de sepultura de tal manera que las urnas queden expuestas.

Paso 2: se procede a la evaluación por observación de la biodegradación presente en las urnas y la toma de muestra a diferentes profundidades para analizar el pH del suelo.

Paso 3: utilizando un contenedor transparente se vierte 100 g de suelo muestreado y se añade la misma cantidad de agua destilada aproximadamente. Se realiza la mezcla y se deja reposar 20 minutos (77).



Figura 20. Muestra de suelo a analizar pH

Paso 4: una vez transcurrido el tiempo de reposo, se inserta la tira rígida indicadora de pH en un tiempo no mayor a 5 segundos, luego de ello, se deja secar 10 segundos aproximadamente para continuar comparando el resultado de color con el espectro de colores para determinar de manera semicuantitativa el pH (77).



Figura 21. Inserción de la tira de papel medidor de pH

Evaluando así su pH de la siguiente manera:



Figura 22. Evaluación del pH en relación al espectro de tonos

Al término de este proceso según Beretta et al. (77) se podría optar por dejar secar las tiras en un tiempo de dos horas, y una vez estando completamente secas, limpiarlas de las partículas de tierra que se adhirieron y volver a realizar la comparación con el espectro de tonos a modo de comprobación.

3.2.9. Evaluación de control y final de las condiciones del suelo postsepultura de la urna biodegradable

Se realiza un muestreo de control, es decir, un segundo análisis para así observar el comportamiento de la urna y el suelo a la mitad del tiempo entre el primer y último muestreo para, de esta manera, tener una visión más amplia. Luego se lleva a cabo el muestreo y análisis final del suelo, al término del periodo estimado postsepultura de las urnas biodegradables. Siendo así los parámetros químicos de relevancia los anteriormente mencionados nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio.

Para ello, se hace la limpieza de la zona a muestrear para evitar ramas, piedras y otros residuos. Luego se hace la limpieza de la pala con agua destilada, así posteriormente se procede a excavar 20 centímetros de profundidad en cada uno de los puntos de sepultura de las urnas.

Luego de obtenidas las premuestras, se combinan de manera aleatoria y se procede a tomar 1 kilogramo aproximadamente de muestra final de acuerdo al procedimiento anteriormente mencionado, para finalmente ser refrigerada de ser necesario y llevada a analizar (71).

3.2.10. Estándares para la interpretación de resultados

Debido a que no se encontró material bibliográfico referente a los estándares de calidad y fertilidad de suelos aptos para cualquier especie de flora en entidades nacionales como el Minam o Minagri, o en el ámbito internacional como es el caso del USDA (*United States Department of Agriculture*); se optó como referencia nacional al departamento de Suelos y Fertilizantes de la Universidad Agraria La Molina y el departamento de Producción Agraria, área de Edafología y Química Agrícola de la Universidad Politécnica de Cartagena de España como referencia internacional.

3.3. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

3.3.1. Técnicas

En esta investigación, para poder establecer las características de una urna biodegradable, se procedió a emplear la observación como técnica de recolección de datos. Mediante la observación de las características de degradación de los materiales que componen la urna, mediciones periódicas de pH a través de tiras rígidas indicadoras y envío a laboratorio para análisis del suelo en cuanto a los macronutrientes y elementos secundarios relevantes para la investigación.

3.3.2. Instrumentos

En esta investigación, se empleó como instrumentos para la recolección de datos, registros de campo para la recolección de los cambios presentados en las características de las urnas biodegradables y el suelo. Por otro lado, se empleó el programa informático Microsoft Excel, para interpretar de mejor manera los datos recolectados en cuanto a características de degradación, estabilización y el comportamiento de los nutrientes en el suelo luego de la sepultura de la urna biodegradable.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Presentación de resultados

4.1.1. Con respecto a las características de la urna biodegradable

Para describir las características de la urna biodegradable se desglosó su investigación en dos. La caracterización del proceso de degradación de los materiales que la componen y el análisis del comportamiento de los nutrientes en el suelo. De esta manera se obtuvieron los siguientes resultados:

4.1.2. Con respecto a la degradación de los materiales que componen la urna biodegradable

La característica del proceso de biodegradación de las urnas se evaluó mediante cinco observaciones periódicas con distancias de 15 días entre sí, en las cuales se procedió a desenterrar las urnas y dejarlas expuestas, de esta manera visualizar cambios en su estructura, apariencia, humedad, entre otras características.

Tabla 5. Observaciones periódicas de biodegradación de las urnas 1 y 2

Observaciones periódicas de biodegradación

**Evaluación 1
29 de noviembre**



Urna 1: mantiene su estructura, húmeda al tacto



Urna 2: mantiene su estructura, húmeda al tacto, las raíces crecieron



Urna 3: mantiene su estructura, húmeda al tacto

**Evaluación 2
13 de diciembre**



Urna 1: mantiene su estructura, húmeda al tacto



Urna 2: mantiene su estructura, húmeda al tacto, las raíces crecieron



Urna 3: mantiene su estructura, húmeda al tacto

Tabla 6. Observaciones periódicas de biodegradación 3, 4 y 5

Evaluación 3 27 de diciembre		
		
Urna 1: mantiene su estructura, húmeda al tacto, sus paredes presentan aumento de fragilidad	Urna 2: mantiene su estructura, húmeda al tacto, sus paredes presentan aumento de fragilidad	Urna 3: mantiene su estructura, húmeda al tacto, sus paredes presentan aumento de fragilidad
Evaluación 4 10 de enero		
		
Urna 1: mantiene su estructura, húmeda al tacto, aumento de fragilidad, las raíces atraviesan sus paredes	Urna 2: mantiene su estructura, húmeda al tacto, aumento de fragilidad, las raíces atraviesan sus paredes	Urna 3: mantiene su estructura, húmeda al tacto, aumento de fragilidad, las raíces atraviesan sus paredes
Evaluación 5 24 de enero		
		
Urna 1: presenta desprendimiento y fragmentación en su estructura, húmeda al tacto, aumento de fragilidad, las raíces atraviesan sus paredes	Urna 2: mantiene su estructura, húmeda al tacto, aumento de fragilidad, las raíces atraviesan sus paredes	Urna 3: ligera fragmentación en su estructura, húmeda al tacto, aumento de fragilidad, las raíces atraviesan sus paredes

Como se puede apreciar en la tabla 5, las urnas presentan un lento proceso de biodegradación, en la cual los cambios en cuanto a sus características fueron similares.

En la observación 1, se encontró que mantenían su estructura estable y presentaban humedad al tacto. Estas características se mantuvieron también en la evaluación 2.

En la evaluación 3, además de presentar aún una estructura estable y humedad al tacto, se encontró un aumento en la fragilidad de sus paredes. Estas características continuaron en la evaluación 4, en la que además se observaron pequeñas raíces atravesando las paredes de las tres urnas biodegradables.

En la evaluación 5, se observó que la urna 1 presentaba fragmentación y desprendimiento de las paredes de su estructura, caso similar de la urna 3, al presentar también una ligera fragmentación. La urna 2 mantenía aún una estructura estable. Por otro lado, las tres urnas continuaban presentando las características anteriormente mencionadas en la evaluación 4.

4.1.3. Con respecto al comportamiento de los nutrientes en el suelo postsepultura de la urna biodegradable

Como se precisó en la metodología de esta investigación, se procedió a evaluar parámetros químicos relacionados a la estabilidad y nutrición del suelo. De esta manera se evaluó el pH, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio.

4.1.3.1. Con respecto al pH del suelo

Se realizaron seis evaluaciones periódicas del pH en cada punto de las tres urnas, en las cuales las condiciones encontradas para cada uno fueron similares en cada determinación semicuantitativa. A continuación, se detallan los resultados.

Tabla 7. Resultados de evaluación de pH 1, 2 y 3

Evaluaciones periódicas de pH

Evaluación 1

15 de noviembre



Punto urna 1

pH [5-6]
Moderadamente ácido



Punto urna 2

pH [5-6]
Moderadamente ácido



Punto urna 3

pH [5-6]
Moderadamente ácido

Evaluación 2

29 de noviembre



Punto urna 1

pH [5-6]
Moderadamente ácido



Punto urna 2

pH [5-6]
Moderadamente ácido



Punto urna 3

pH [5-6]
Moderadamente ácido

Evaluación 3

13 de diciembre



Punto urna 1

pH [6-7]
Ligeramente ácido



Punto urna 2

pH 6
Ligeramente ácido



Punto urna 3

pH 6
Ligeramente ácido

Tabla 8. Resultados de evaluación de pH 4, 5 y 6

**Evaluación 4
27 de diciembre**



Punto urna 1

pH [6-7]
Ligeramente ácido

Punto urna 2

pH [6-7]
Ligeramente ácido

Punto Urna 3

pH [6-7]
Ligeramente ácido

**Evaluación 5
10 de enero**



Punto urna 1

pH [6-7]
Ligeramente ácido

Punto urna 2

pH [6-7]
Ligeramente ácido

Punto urna 3

pH [6-7]
Ligeramente ácido

**Evaluación 6
24 de enero**



Punto urna 1

pH 6
Ligeramente ácido

Punto urna 2

pH 6
Ligeramente ácido

Punto urna 3

pH 6
Ligeramente ácido

Como se puede observar en las tablas 7 y 8, en la primera evaluación realizada, la cual fue tomada antes de la sepultura de las urnas biodegradables, el pH determinado de acuerdo a los indicadores de color estuvo entre el rango de 5 y 6. Este pH continúa siendo el mismo en la segunda evaluación realizada para las tres urnas, interpretándose en el intervalo moderadamente ácido según (78) (79).

En la evaluación 3 se encontró un ligero aumento en el pH, determinándose entre el rango de 6 y 7 según sus indicadores de color para el punto de la urna 1 y de 6 para los otros dos puntos, interpretándose justo en el intervalo ligeramente ácido (78) (79), adecuado para la mayoría de los cultivos.

En los resultados de la evaluación 4 y 5 se encontró que continuaba el aumento de pH, determinándose entre el rango 6 y 7, por la intensidad de sus indicadores de color en las tiras rígidas indicadoras de pH. El cual se interpreta como ligeramente ácido, presentando la máxima disponibilidad de nutrientes (79), óptimo para la mayoría de los cultivos (78).

La evaluación 6 determinó un pH de 6 para los tres puntos de sepultura, siendo interpretada al igual que la evaluación 3, es decir en el rango ligeramente ácido es apto para la mayoría de los cultivos.

Para observar mejor los cambios del pH en el transcurso de esta investigación, se presenta la siguiente gráfica:

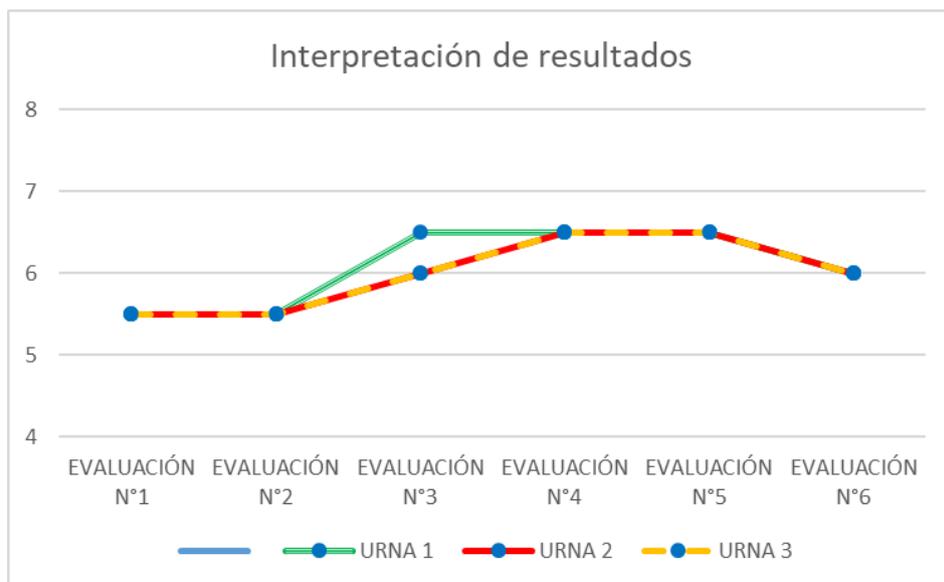


Figura 23. Interpretación de resultados del pH del suelo

En la figura 23 se observa, a mayor detalle, el comportamiento del pH a través del tiempo. Que parte entre el rango 5 y 6 para las tres urnas, determinándose en 6 en la tercera evaluación para los puntos de las urnas 2 y 3, y un pH entre el rango 6 y 7 para el punto de la urna 1, que está representado de color verde. Alcanzan un rango entre 6 y 7 en la evaluación 4 manteniéndose igual en la evaluación 5. Luego, en el último periodo, de 15 días, ligeramente decrece a un valor de 6 para los tres puntos de las urnas.

4.1.3.2. Con respecto a los macronutrientes y elementos secundarios

Al término de los tres muestreos realizados periódicamente en espacios de 30 días entre ellos, se enviaban las muestras representativas a laboratorio para sus análisis. Los cuales dieron los siguientes resultados:

Tabla 9. Resultados de análisis de parámetros químicos del suelo (macronutrientes y elementos secundarios)

Ensayo	Unidad	Primer resultado	Segundo resultado	Tercer resultado
Fósforo disponible	mg/kg	6,90	10,82	6,89
Nitrógeno total	mg/kg	655	675	502
Bases disponibles (Ca, Mg y K)				
Calcio disponible	meq/100 g	20,40	19,49	18,24
Magnesio disponible	meq/100 g	1,43	1,41	1,07
Potasio disponible	meq/100 g	0,70	0,81	0,97
Relación (Ca+Mg)/K disponible	no unidad	31,2	25,8	19,8
Relación Ca/Mg disponibles	no unidad	14,3	13,8	17
Suma de bases disponibles	meq/100 g	22,53	21,71	20,28

Como se observa en la tabla 9, se pueden interpretar los resultados mostrados de la siguiente manera:

El primer resultado corresponde al análisis de suelo presepultura de las urnas biodegradables. En el cual se obtuvo 6.90 mg/kg de fósforo disponible, y se podría interpretar que se encuentra justo entre el intervalo de baja y media concentración (80). En el caso del nitrógeno total el resultado fue de 655 mg/kg, y se puede interpretar como bajo el nivel de este parámetro y la disponibilidad encontrada de calcio fue de 20.40 meq/100 g, comprendida entre los niveles considerados medios y altos (81). Por otro lado, se halló 1.73 meq/100 g de magnesio disponible, que es un nivel medio de presencia en el suelo (80) y 0.70 meq/100 g de potasio disponible como disponibilidad alta (80).

Finalmente, en cuanto a las relaciones entre las bases, la valoración 31.2 en la relación de (Ca+Mg)/K denota una relación adecuada para el potasio, y la valoración 14.3 en relación Ca/Mg presenta una deficiencia de magnesio (82).

En el segundo resultado se obtuvo 10.82 mg/kg de presencia de fósforo disponible en el suelo, el cual es interpretado como disponibilidad media (80); así también la concentración de nitrógeno total fue de 675 mg/kg considerado bajo (81). En cuanto al calcio disponible fue de 19.49 meq/100 g su cantidad, considerándose entre los intervalos medio y alto de concentración (81). El magnesio disponible encontrado fue de 1.41 meq/100 g, interpretado como concentración media y el potasio disponible fue de 0.81 meq/100 g considerado alto (80).

Finalmente, en cuanto a la relación $(Ca+Mg)/K$, tuvo una valoración de 25.8, adecuado para el potasio y en la relación Ca/Mg su valoración fue de 13.8, denotando deficiencia de magnesio (82).

Las cantidades en el tercer resultado fueron para el fósforo disponible 6.89 mg/kg, considerada entre el intervalo de concentración baja y media (80), y para el nitrógeno total 502 mg/kg, considerada baja su presencia en el suelo (81). Por otro lado, se encontró 18.24 meq/100 g de calcio disponible, interpretado como nivel medio en su presencia (81). El magnesio disponible hallado fue 1.07 meq/100 g, siendo baja su cantidad y el potasio disponible fue 0.97 meq/100 g, considerado como muy alto; ambos parámetros interpretado de acuerdo con Guerrero (80).

Por último, con respecto a la relación $(Ca+Mg)/K$, sus bases disponibles tuvieron una valoración de 19.8, la cual es adecuada para el potasio y por otro la relación Ca/Mg , tuvo 17 considerado así que la presencia de magnesio es deficiente (82).

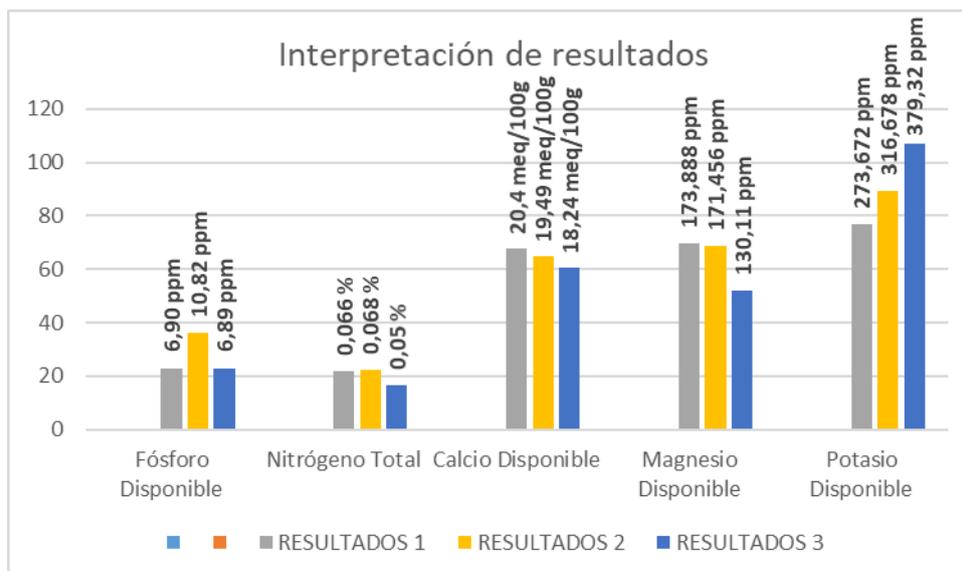


Figura 24. Interpretación de resultados del comportamiento de los parámetros químicos

En la figura 24, se observa una gráfica de barras que facilita la interpretación del comportamiento de los parámetros químicos a partir de los resultados obtenidos en los tres análisis, cabe resaltar que se convirtieron sus unidades originales a las disponibles en las fuentes bibliográficas de esta investigación (80) y (81) para facilitar su interpretación.

En cuanto al fósforo disponible se puede observar un crecimiento de 6.90 ppm a 10.82 ppm entre la primera y segunda evaluación. Y un decrecimiento a 6.89 ppm en el tercer análisis volviendo a sus condiciones iniciales.

Respecto al nitrógeno total se observa un crecimiento entre el primer y segundo análisis, siendo de 0.066 % y 0.068 % de concentración respectivamente. Sin embargo, también se percibe una caída a 0.05 % en su tercer análisis.

Respecto al calcio disponible se puede observar un decrecimiento continuo, siendo su concentración de 20.4 meq/100 g en su primer análisis, 19.49 meq/100 g en el segundo y 18.24 meq/100 g en su tercer análisis.

En cuanto al magnesio disponible se puede reconocer que entre la primera y segunda evaluación sus concentraciones varían entre 173.888 ppm y 171.456 ppm respectivamente. Observando un segundo decrecimiento en el tercer análisis, siendo 130.11 ppm la concentración de este nutriente secundario en el suelo.

En cuanto al potasio disponible, su comportamiento es diferente respecto a los demás parámetros, ya que se puede observar un crecimiento constante de su disponibilidad. Este crecimiento empieza de 273.672 ppm en el primer análisis, 316.678 ppm en el segundo y 379.32 ppm en el último.

4.2. Discusión de resultados

Mediante los resultados obtenidos en la presente investigación, estos se pueden interpretar y comparar con investigaciones relevantes de la siguiente manera:

- Dentro de las características más relevantes presentadas por la urna biodegradable, una es su degradación limpia. Esto debido a que, durante este proceso, la urna no significó una fuente de vectores y sus componentes no desprendieron ningún tipo de agente que podría resultar negativo para el suelo. Este no es el caso de la investigación de Llamas et al. (3), en la que la urna ecológica a partir de fibra de coco mostró presencia de moho al término de un periodo de 49 días. Si bien la evaluación fue realizar a exteriores, es decir como maceta. Se encontró claramente que el comportamiento de la urna con la humedad no era del todo adecuado, por lo que recomendaron realizar una prueba bioquímica, ya que no existen suficientes investigaciones de este material usado como materia prima en exposición a las condiciones mencionadas.
- La urna biodegradable propuesta por la presente investigación cuenta con un importante valor añadido, en relación con urnas propuestas en otras investigaciones. Esto se debe al material del que está hecha y los componentes que la complementan. Todos ellos son biodegradables y además están compuestos de nutrientes. Tal no es el caso de Osetska (76),

urna hecha de arcilla, que no supone otro valor añadido más que su degradación, al igual que la urna de Llamas et al. (3), hecha de fibra de coco. Por otro lado, se pueden considerar aportantes los materiales de la urna de Escobar (54), por su empleo de compost, sin embargo, el uso de aserrín como materia prima, devalúa la degradación en el suelo. Es por lo que Escobar (54) recomienda el uso de fertilizantes orgánicos o estiércol en lugar de aserrín. No obstante, la urna de Buenos Aires propuesta en la investigación de Nolasco y Salmoral (7), está compuesta por un bioplástico obtenido del almidón extraído de las leguminosas de las regiones argentinas. Este es rico en proteínas, siendo también importante en el aporte de nutrientes al suelo.

- En cuanto al tiempo de degradación, actualmente, existen urnas biodegradables tanto para personas como para mascotas como es el caso de Limbo Europe (83), las cuales tienen un tiempo de degradación bajo tierra de tres a cuatro semanas. La urna biodegradable elaborada en esta investigación tiene un valor añadido, ya que, si bien su proceso de degradación es más lento debido a las características de sus materiales, este resulta positivo, ya que las cenizas funerarias de las mascotas a la cual está orientada esta investigación no quedarán expuestas al suelo de manera rápida y el comportamiento de los principales nutrientes y pH del suelo postsepultura de la urna será de manera sostenida en el tiempo, pudiendo ser favorable para la especie vegetal que es en muchos casos un árbol plantado sobre esta.
- El comportamiento del pH fue el esperado, como se observa en los resultados de esta investigación interpretados según USDA (78) y *Soil Science Society of America* (79) este partió con un valor entre los rangos 5 y 6 justo en el intervalo moderadamente ácido, manteniéndose igual en la segunda evaluación. En la tercera evaluación se determina un ligero aumento de este, llegando a 6, en el límite entre moderadamente ácido y levemente ácido. En las dos siguientes evaluaciones se determinó un pH entre los rango 6 y 7, observándose una clara tendencia de aumento a intervalos ligeramente ácidos, siendo estos los óptimos para un máximo rendimiento de intercambio catiónico, según *Nostoc Biotech* (45). Finalmente, se determina un ligero decrecimiento a un pH de 6. El rango final de los niveles de pH está dentro del

intervalo para la máxima disponibilidad de nutrientes y el óptimo desarrollo para la mayoría de los cultivos (78) (79).

- El fósforo es un nutriente generalmente muy escaso en el suelo, es decir presenta baja disponibilidad (84). En relación con los resultados del primer análisis previo a la sepultura de la urna biodegradable, en la segunda evaluación se observa un incremento en la disponibilidad de este, eso se debe a que la materia orgánica propia de la urna empezó un proceso de mineralización a través de la actividad microbiana, liberando iones que formarán parte de la solución del suelo (85). Este proceso se debió al ligero aumento del pH a inervarlos entre 6 y 7, el cual hace que aumente la disponibilidad del fósforo, ya que este ligeramente ácido pH facilita el proceso e incremento de la solución de fosfato en el suelo (86) (84). Por otro lado, la disponibilidad de este nutriente puede verse reducida a medida que el suelo empieza a salir de este rango según (87), esto puede deberse a que la actividad microbiana empieza a estabilizarse, como se observan en los resultados de las evaluaciones del pH, este tiende a acidificarse levemente, por lo que estos fosfatos pierden presencia en la solución al ser fijados por Al, Fe, óxidos y arcillas (87) (88). Por lo tanto, en el tercer análisis el fósforo disminuyó su disponibilidad volviendo a una condición similar a la inicial. Esta deficiencia se debe también a que el fósforo es un nutriente que no es rápidamente liberado por la materia orgánica (85), por lo tanto, su reposición tampoco llegó a ser inmediata.
- El comportamiento del nitrógeno total no varió significativamente en el suelo durante el periodo de evaluación. Este al igual que el potasio tiene generalmente una baja disponibilidad en el suelo y su proceso, en este, es igual de dinámico (88). La dinámica de este elemento en cuanto a su disponibilidad es a través de su mineralización, inmovilización, nitrificación, desnitrificación y fijación que se deben también a la actividad microbiana (89). Es así como, entre el primer y segundo análisis su disponibilidad aumenta de manera muy ligera, esto debido a que la materia orgánica, es decir la urna biodegradable, estaba en un proceso de mineralización a través de la actividad microbiana pasando de orgánica a nitrógeno mineral, encontrándose

en forma de amonio NH_4^+ y nitrato NO_3 (88). En los resultados del tercer análisis se observó una ligera disminución de nitrógeno en el suelo, esto se puede explicar de acuerdo a las características de su forma mineral. El amonio generalmente está fijado a redes cristalinas de arcillas, que sirve de reserva al ser intercambiable y en la solución del suelo, por otro lado, el nitrato se encuentra en la solución (90). Es en la solución del suelo que el nitrato puede verse lixiviado por ser altamente soluble en agua, es así como, las lluvias presentadas en el mes de enero y la periodicidad de riego del suelo pudieron hacer que la disponibilidad de este decayera ligeramente para el último análisis (90).

- La disponibilidad del calcio no varía significativamente como se observó en los resultados, esta se mantiene similar durante el primer y segundo análisis, decayendo de manera muy ligera en el último. Este decrecimiento en su disponibilidad se puede deber a distintos factores, principalmente por la precipitación el calcio soluble pasa a capas más profundas del suelo en forma de calcio precipitado, también pudiendo verse lavado (91). Esto se debe a que, durante la mineralización de la materia orgánica, este entra a formar parte de la solución entrando en constante dinámica con su forma intercambiable. Este calcio en solución al no ser absorbido, ya que se limitó la presencia vegetal en las zonas destinadas a las urnas, pudo verse usado por los microorganismos en el proceso de humificación o verse lixiviado (91), así también la interacción entre el Ca, Mg y K, el calcio en solución disminuye su velocidad de absorción cuando existen concentraciones altas de K y Mg (91), tal y como se puede observar en los resultados del análisis de comportamiento de nutrientes de esta investigación. De esta manera, el ligero decrecimiento en el último análisis es explicado, perdiendo disponibilidad principalmente por su lixiviación a causa del aumento de precipitación en el mes de enero y la periodicidad de riego.
- El magnesio disponible en cuanto a su dinámica en el suelo es muy parecido al Ca. Su disponibilidad se puede encontrar a través de su forma intercambiable fijada electrostáticamente a materia orgánica o minerales arcillosos y en la solución del suelo, ambas formas en constante

dinámica (92). La fuerza de fijación que tienen los iones de Mg en sus superficies de intercambio también llamada fuerza de Coulom-Lorentz es poca, y por lo tanto este está en una alta exposición a verse lavado (92). De la misma manera, el Mg obtenido de la materia orgánica a través de la mineralización, pasa a la solución pudiendo perderse por lixiviación o por absorción de los microorganismos (91). Otro factor similar causante del decrecimiento del magnesio disponible se puede deber a que una alta presencia de iones de potasio puede desplazar los iones de magnesio en el intercambio catiónico, quedando estos sueltos en el suelo, pudiendo verse lixiviados (45). De esta manera la disminución en cuanto a su disponibilidad en el tercer análisis se puede deber a la periodicidad de riego y las precipitaciones en el mes de enero.

- El comportamiento del potasio se diferencia de los demás nutrientes por su incremento continuo durante el segundo y tercer análisis del suelo. Este crecimiento en su disponibilidad se da gracias a la mineralización de la materia orgánica y a su liberación por actividad microbiana (93). En el suelo se encuentran principalmente el K en solución en constante dinámica con el K intercambiable a través del intercambio catiónico y a su vez el K_i en dinámica con el K no intercambiable a través de su liberación y fijación (90). La baja pérdida por lavado a causa de las precipitaciones y periodicidad de riego se puede deber a que los cationes de potasio tienen una fijación más fuerte que otros cationes, por lo tanto, desplaza a otros elementos en el intercambio catiónico y también en su fijación en materia orgánica y arcillas (45). Teniendo en cuenta que su mayor disponibilidad está presente en su forma intercambiable y que la reposición de este en la solución se puede dar en minutos y en el caso del K no intercambiable en días y su disponibilidad no se vio afectada (93).

CONCLUSIONES

- En esta tesis se describieron las características de la urna biodegradable como alternativa ambiental de sepultura, siendo una biodegradación limpia y pausada en el tiempo, acercando el pH del suelo a intervalos óptimos para la disponibilidad de nutrientes y desarrollo de la mayoría de especies vegetales y un comportamiento en cuanto a los nutrientes, de incrementos y decrecimientos que no evidencian un impacto ambiental negativo en el suelo cumpliendo con su propósito de ser una alternativa ambiental de sepultura.
- En esta tesis se caracterizó la degradación de los materiales que componen la urna biodegradable como alternativa ambiental de sepultura, que permiten la prolongación de la integridad de la estructura de la urna con un proceso de degradación lento y limpio a lo largo del periodo evaluado.
- En estas tesis se analizó el comportamiento de los nutrientes en el suelo postsepultura de la urna biodegradable como alternativa ambiental de sepultura, que tuvieron incrementos y decrecimientos a lo largo de la investigación, siendo comportamientos propios de sus dinámicas en el suelo, sus interacciones entre sí y por factores de precipitación y riego. No observándose un impacto grande evidenciable a causa de la urna en el suelo.
- También se concluye que a pesar de que la presente urna tiene un tiempo más largo de degradación en comparación a otras actualmente en el mercado; esta característica resulta positiva al mantener las cenizas encapsuladas por más tiempo y así no sean expuestas al suelo de manera muy rápida. Así mismo, al contar con las características discutidas en esta investigación en cuanto al comportamiento de nutrientes y pH en el suelo, supone unas condiciones adecuadas que pueden ser sostenidas en el tiempo de complementarse la urna con una especie vegetal.

RECOMENDACIONES

- Con respecto a la periodicidad de riego, se recomienda hacerlo una vez a la semana o dos veces, dependiendo la estación del año en que se realice. El suelo se debe regar de manera que este quede húmedo para facilitar el movimiento de los iones de los diversos nutrientes. Evitar el encharcamiento al momento del riego y en épocas de lluvia es importante debido a que, los iones de los nutrientes estarán disueltos en la solución del suelo, de tal manera que podrían verse lixiviados o infiltrados a capas más profundas del suelo.
- En esta investigación se redujeron las cáscaras de huevo a partículas muy pequeñas, debido a la poca cantidad recolectada a causa de la coyuntura sanitaria actual, para conformar la estructura de las urnas. Se recomienda reducirlas a polvo y así facilitar el proceso de degradación y la manipulación al momento del moldeo. Además, de dar mayor firmeza a la estructura y mejorar su estética.

LISTA DE REFERENCIAS

1. **RONALDO BURGOS, V.** Eternima. [En línea] 27 de enero de 2017. <https://eternima.com/impacto-ambiental-la-cremacion-entierro/>
2. **BELTRÁN RAMÍREZ, Nathalia; GONZÁLEZ FINO, Yenny; HERNÁNDEZ GÓMEZ, Lady Johanna.** *Estudio para el desarrollo de un biomaterial de cáscara de huevo.* Bogotá : Facultad de Ingeniería de la Universidad EAN, 2021.
3. **LLAMAS FLORES, Alondra Izamar, y otros.** Prototipo de urna funeraria ecológica elaborada con fibra de coco. 2, Colima-México : *Revista Ingeniantes*, 2019, Vol. 2.
4. **VACA TUBÓN, Jenny Magaly.** *Aplicación foliar de calcio en el cultivo de fresa (Fragaria sp.) obtenido a partir de cáscara de huevo de gallina (Gallus gallus).* Ambato-Ecuador : Universidad Técnica de Ambato, 2019.
5. **TEJEDERA NERI, Kevin.** *Propuesta de implantación de un cementerio ecológico en el vertedero clausurado de la Vall d'en Joan (Parque Natural del Garraf).* Barcelona : Universidad Politécnica de Cataluña, 2017.
6. **SEVILLA RECALDE, Doménica.** *Plan de negocios para la producción y comercialización de urnas biodegradables en la ciudad de Quito.* Quito : Universidad de las Américas, 2017.
7. **NOLASCO, Ignacio A.; SALMORAL, Elda M.** *Diseño industrial utilizando material biodegradable.* Buenos Aires-Argentina : Universidad de Buenos Aires, 2008.
8. **OMIL IGNACIO, Beatriz.** *Gestión de cenizas como fertilizante y enmendante de plantaciones jóvenes de Pinus radiata.* Lugo-España : Universidad de Santiago de Compostela, 2007.
9. **HOSSAIN, S. K. S.; ROY, P. K.** *Development of sustainable calcium silicate board: utilization of different solid wastes.* Varanasi-India : Department of Ceramic Engineering, IIT (BHU), 2005.
10. **QUIROZ VIERA, Dorcas.** *Aplicación de cenizas de carbón para mejorar la estabilidad de suelos arenosos, Mz. I, Las Gardenias, Ancón, 2019 .* Lima-Perú : Universidad César Vallejo, 2019.

11. **HUANCA BIZARRO, Antoni Fernando.** *“Uso de la cáscara de huevo molida como material encalante en suelos ácidos del Perú”*. Lima-Perú : Universidad Nacional Agraria de Molina, 2018.
12. **PINTO CHOQUE, Miriam Diane.** *Servicio funerario orgánico de cremación para la región de Tacna-2017*. Tacna : Universidad Privada de Tacna, 2018.
13. **QUISPE ABAD, Yessica Erika.** *Aplicación de cáscara de huevo en un suelo ácido de atalaya para incrementar la producción Zea mays, 2018*. Lima-Perú : Universidad César Vallejo, 2018.
14. **GONZALES ESTRELLA, Elizabeth Angela, y otros.** *Urnas biodegradables para canes: Patitas en el Cielo*. Lima-Perú : Universidad San Ignacio de Loyola, 2018.
15. **LANGUASCO RENTERIA, Manuel Eduardo; RIVERA RIVERA, Diego Arnaldo.** *Cementerio ecológico en la ciudad de Ica*. Ica : Universidad Ricardo Palma, 2017.
16. **CÁCERES DIAZ, Guibelt Lettis.** *Propuesta de implantación de un cementerio ecológico en la ciudad de Arequipa 2019*. Arequipa : Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa , 2019.
17. **RAMOS, Gerardo.** Cementerio La Apacheta permanecerá cerrado desde el 31 de octubre hasta el 2 de noviembre para evitar aglomeraciones. *HBA Noticias*. Miercoles 17 de noviembre, 2021.
18. **Parque de la esperanza.** Camposanto Parque de la Esperanza. [En línea] 2021. <https://www.parquedelaesperanza.com/galeria/>
19. **CITELLI, Anna; BRETZEL, Raoul.** Capsula Mundi. [En línea] 2003. <https://www.capsulamundi.it/en/project/>
20. **GUERRERO, Teresa.** Entierros ecológicos para un final "verde". *El Mundo*. Medio Ambiente, 2010.
21. **WIIGH-MASAK, Susanne.** Promessa. [En línea] [Citado el: 4 de abril de 2020.] <https://www.promessa.se/como-funciona/?lang=es>
22. **MARTÍNEZ, Leo.** Seguros de Muertos y Decesos. [En línea] 24 de noviembre de 2014. <https://segurodedecesos.blogspot.com/search?q=promaci%C3%B3n>
23. **JARAMILLO OBANDO, Guillermo Patricio.** *Bosque de almas. Parque urbano de cenizas*. Valdivia-Chile : Universidad Austral de Chile, 2020.

24. **BOOGERT, Ruth.** ECOS Challenging Conservation. [En línea] 28 de marzo de 2015. [Citado el: 14 de diciembre de 2021.] <https://www.ecos.org.uk/ecos-34-1-spring-2013-greening-the-funeral-business-ruth-boogert/>.
25. **LEE, Jae Rhim.** Entierros ecológicos: trajes de hongos, cenizas para plantar un árbol y otras modas para morir. *BBC News Mundo*. 17 de junio de 2016.
26. **BRETZEL, Raoul; CITELLI, Anna.** Cápsula Mundi. [En línea] 2003. <https://www.capsulamundi.it/en/>.
27. **BOTERO RAMÍREZ, Daniela; MONTOYA LÓPEZ, Luisa Fernanda.** *Estudio de viabilidad de una empresa comercializadora de ataúdes y urnas biodegradables en el Eje Cafetero*. Pereira-Colombia : Universidad Católica de Pereira, 2017.
28. **BELLVER, Elena.** *Tendencias*. [En línea] 4 de abril de 2016. <https://tendencias.com/eco/materiales-biodegradables/>
29. **PORTILLO, Germán.** Renovables verdes. [En línea] 2021. <https://www.renovablesverdes.com/que-es-un-producto-biodegradable/>
30. **BELTRÁN MORALES, Félix Alfredo, y otros.** *Contenido inorgánico de nitrógeno, fósforo y potasio de abonos de origen natural para su uso en agricultura orgánica*. México : Terra Latinoamérica, 2019. 2395-8030.
31. **ROMERO LIMA, María del Rocío, y otros.** *Producción de papa y biomasa microbiana en suelos con abonos orgánicos y minerales*. Texcoco-México : Agrociencia, 2000. 1405-3195.
32. **CHAVARRÍA GUERRA, Silvia Patricia; LANDAVERDE MONTANO, Claudia Lissette.** *Cuantificación del contenido de fósforo y calcio en harina de huesos de pollo para ser utilizada como abono*. El Salvador : Universidad de El Salvador, 2004.
33. **InfoAgro.** InfoAgro. [En línea] 2019. <https://www.infoagro.com/abonos/algas.htm>.
34. **MUÑOZ, Lucía.** AgroHuerto. [En línea] 31 de mayo de 2018. <https://www.agrohuerto.com/abono-organico-tipos-de-fertilizantes/>
35. **SOMESHWAR, Arun V.** Wood and Combination Wood-Fired Boiler Ash Characterization. *Journal of Environmental Quality*. 1 de septiembre de 1996, Vol. 25, 5, págs. 962-972.
36. **ISAN, Ana.** Ecología verde. [En línea] 11 de abril de 2018.

- https://www.ecologiaverde.com/maneras-de-utilizar-los-restos-de-cafe-en-el-jardin-359.html#anchor_1
37. **MIRACLE, Barbara.** *Florida Company Recycles Human Hair*. Florida-USA : Florida Trend, 1 de June de 2008.
 38. **Cesareragazzi Laboratories.** Cesareragazzi Laboratories. *Área Científica-Cabello y cuero cabelludo*. [En línea] 10 de diciembre de 2021. [Citado el: 10 de diciembre de 2021.] <https://www.cesareragazzi.com/es/estructura-y-quiacutemica-del-cabello>
 39. **Ecoinventos Green Technology.** *Ecoinventos Green Technology*. [En línea] 14 de junio de 2021. <https://ecoinventos.com/fertilizantes-organicos-caseros/>
 40. **WAHEED, Marium, y otros.** *Canalización de residuos de cáscara de huevo a productos valiosos y utilizables: una revisión exhaustiva*. s. l. : Tendencias en Ciencia y Tecnología de los Alimentos, 2020.
 41. **RAY, Subhajit, y otros.** *Chicken eggshell powder as dietary calcium source in chocolate cakes*. India : The Pharma Innovation, 2017. 2277- 7695.
 42. **Ministerio de Agricultura y Riego [Minagri] y Programa de Desarrollo Productivo Agrario Rural.** *Manual de abonamiento con guano de las islas*. Lima : Agro Rural – Dirección de Abonos, 2018.
 43. **MARTÍNEZ RAYO, Jorge Luis.** *Proyecto Calidad de cultivares de café bajo diferentes condiciones de suelo y cobertura de sombra en cinco municipios de Las Segovias (Ucatse, UNA, PAC, Exportadora Atlantic S. A.)*. Estelí-Nicaragua : Ucatse-Universidad Católica de Trópico Seco.
 44. **Food and Agriculture Organization [FAO].** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. *Portal de suelos de la FAO*. [En línea] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2022. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/#:~:text=La%20Capacidad%20de%20Intercambio%20Cati%C3%B3nico,K%2C%20NH4%20etc.>
 45. **Nostoc Biotech.** Nostoc Biotech. *Los nutrientes del suelo y la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)*. [En línea] 2022. <https://www.nostoc.es/nutrientes-suelo-y-capacidad-intercambio-cationico-cic/>

46. **DORRONSORO, Carlos.** *Introducción a la edafología.* Granada-España : s. n.
47. **Green Burial Council.** Green Burial Council. [En línea] 28 de marzo de 2020. https://www.greenburialcouncil.org/green_burial_defined.html
48. **KEIJZER, Elisabeth.** *Environmental impact of funerals. Life cycle assessments of activities after life.* The Netherlands : University of Groningen, 2011.
49. **REYES, Juan.** Las funerarias carecen de controles efectivos para manejo de cadáveres. *El Telégrafo.* 2 de julio de 2014.
50. **VELASCO RIVERA, Aurora; MINOTA ZEA, Yudy Marlevis.** *Evaluación por contaminación en suelos aledaños a los cementerios Jardines del Recuerdo e Inmaculada.* Bogotá-Colombia : Universidad Militar Nueva Granada, 2012. 0124-8170.
51. **SANTARSIERO, A., y otros.** Aspectos higiénicos relacionados con el entierro. 135-139, Italia : *Revista microquímica*, 2000, Vol. 67. 0026-265X.
52. **Central Intelligence Agency.** El libro mundial de hechos. [En línea] CIA, 2018. <https://www.cia.gov/the-world-factbook/about/>
53. **Expansión-Muertes en el Perú en los últimos años.** Expansión-Datos macro. [En línea] 21 de abril de 2020. <https://datosmacro.expansion.com/demografia/mortalidad/peru>
54. **ESCOBAR VERA, Teresa Liseth.** *Diseño y elaboración de urnas funerarias biodegradables como propuesta sostenible ante la contaminación del sector funerario.* Quito-Ecuador : Universidad Internacional SEK-Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, 2020.
55. **Funeral natural a sustainable death.** Funeral natural a sustainable death. [En línea] 2 de abril de 2021. <https://www.funeralnatural.net/articulos/la-composicion-de-las-cenizas-humanas>
56. **Fundación Tierra.** Terra-Ecología práctica. [En línea] 12 de noviembre de 2017. <https://www.terra.org/categorias/articulos/las-cenizas-humanas-no-son-toxicas>.
57. **Ministerio del Ambiente del Perú y Senamhi .** Senamhi-Ministerio del Ambiente del Perú. [En línea] [Citado el: 14 de noviembre de 2021.] <https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-detalle-turistico&localidad=0018>

58. **Real Academia Española.** Diccionario de la Real Academia Española. [En línea] Real Academia Española, 2020. <https://dle.rae.es/inhumar>
59. **Diccionario de Oxford.** *Lexico Powered by Oxford.* [En línea] Oxford, 2020. <https://www.lexico.com/es/definicion/exhumacion>
60. **CUÉ BÄR, Eva M., y otros.** La flora arbórea de Michoacán, México. [aut. libro] Sociedad Botánica de México. *La flora arbórea de Michoacán.* Distrito Federal de México : Sociedad Botánica de México, 2006.
61. **Food and Agriculture Organization [FAO].** Food and Agriculture Organization of the United Nations. [En línea] FAO, 2020. <http://www.fao.org/home/search/en/?q=permeabilidad>
62. **MARTÍNEZ, Julia; FERNÁNDEZ BREMAUNTZ, Adrián.** *Cambio climático: una visión desde México.* México : Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología, 2004.
63. **Instituto Regional de Estudios de Sustancias Tóxicas (IRET).** *Manual de plaguicidas de centroamérica.* Costa Rica : UNA, 2020.
64. **ZSCHIMMER; SCHWARZ.** *Fertilizantes agrícolas tipos de fertilizantes, usos y beneficios.* España, 28 de enero de 2021. [Citado el: 1 de diciembre de 2021.] <https://www.zschimmer-schwarz.es/noticias/fertilizantes-agricolas-tipos-de-fertilizantes-usos-y-beneficios/>
65. **World Meteorological Organization.** *World Meteorological Organization.* [En línea] 2013. http://www.wmo.int/pages/themes/weather/index_es.html
66. **Ministerio de Agricultura y Riego [Minagri].** Ministerio de Agricultura y Riego. [En línea] 16 de abril de 2020. <https://www.minagri.gob.pe/portal/49-sector-agrario/recurso-forestal/355-reforestacion>
67. **Gobierno de México.** Gobierno de México. [En línea] 13 de agosto de 2018. [Citado el: 08 de Mayo de 2020.] <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/impacto-ambiental-y-tipos-de-impacto-ambiental>
68. **Food and Agriculture Organization [FAO].** Food and Agriculture Organization of the Nations. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.* [En línea] Portal de suelos de la FAO, 2021. [Citado el: 1 de diciembre de 2021.] <https://www.fao.org/soils-portal/soil-management/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-acidos/es/>
69. **IBAÑÉZ, Juan José.** Madrimasd Blogs. [En línea] Madrimasd Blogs, 24 de Abril de 2007. [Citado el: 1 de diciembre de 2021.]

<https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/04/24/64266>.

70. **Municipalidad de José Luis Bustamante y Rivero.** Municipalidad de José Luis Bustamante y Rivero. [En línea] 2021. [Citado el: 14 de noviembre de 2021.] <https://www.munibustamante.gob.pe/nuestro-distrito/92-ubicacion>.
71. **Ministerio del Ambiente del Perú.** *Guía para el muestre de suelos*. Lima-Perú : Ministerio del Ambiente. Dirección General de Calidad Ambiental., 2014.
72. **HULSE, J.** Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Agris*. [En línea] 1996. [Citado el: 10 de diciembre de 2021.] Páginas 86-96. https://agris.fao.org/agris-search/search.do;jsessionid=7F46F3DCE5EDD1A48706E162C69EF2BC?request_locale=en&recordID=XF1997071755&sourceQuery=&query=&sortField=&sortOrder=&agrovocString=&advQuery=¢erString=&enableField=. 1020-3370
73. **SCHRIEBER, Reinhard; GAREIS, Herbert .** *Gelatine Handbook: Theory and Industrial Practice*. Alemania : Wiley-VCH, 2007. 9783527610969.
74. **CARBAJAL CONTRERAS, Héctor Miguel Angel.** *Rediseño de las columnas de intercambio iónico catiónico en un proceso de producción de grenetina*. México : Universidad Autónoma del Estado de México, 2018.
75. **Quimica.es.** Lumitos Leads to success, 10 de diciembre de 2021. [Citado el: 10 de diciembre de 2021.] https://www.quimica.es/enciclopedia/Bicarbonato_de_sodio.html.
76. **OSETSKA, Lesya.** *Procedimiento de fabricación de urnas funerarias y urna que se obtiene con dicho procedimiento*. 2, 375-985 España, 19 de noviembre de 2012. Urna Biodegradable.
77. **BERETTA, Andrés, y otros.** *Medición de pH del suelo con papel reactivo*. 2, Colonia-Uruguay : Agrociencia Uruguay, diciembre de 2015, Vol. 19. 1510-0839.
78. **United States Department of Agriculture (USDA).** *Soil Quality Test Kit Guide*. United States : Agricultural Research Service, Natural Resources Conservation Service, Soil Quality Institute, 2001.
79. **Soil Science Society of America.** *Soil classification according to pH*. United States : Soil Science Society of America, 1987.

80. **Universidad Nacional Agraria La Molina.** Tablas de niveles críticos para la interpretación de análisis de suelos. [aut. libro] Guerrero, J. Lima-Perú : Departamento de suelos y fertilizantes de la UNALM.
81. **Universidad Politécnica de Cartagena.** II Máster de Nutrición Vegetal en Cultivos Hortícolas Intensivos. [aut. libro] Antonio L. Alarcón Vera. *Módulo X: Diagnóstico Agrícola: Agua, Suelo y Material Vegetal.* Cartagena-España : Dpto. Producción Agraria. Área Edafología y Química Agrícola de la UPCT.
82. **AQM LABORATORIOS; MORO GONZÁLES, Alberto.** AQM laboratorios. [En línea] Agricultura y Análisis agrícola , 26 de noviembre de 2015. [Citado el: 31 de enero de 2022.] <http://aqmlaboratorios.com/relaciones-cationicas-analisis-de-suelos/>
83. **Limbo Europe.** Limbo. [En línea] 2020. [Citado el: 2 de mayo de 2022.] <https://www.limboeurope.com/empresa>
84. **CORRALES , Lucía; ARÉVALO, Zuly; MORENO, Vanessa.** Solubilización de fosfatos: una función microbiana importante en el desarrollo vegetal. Bogotá : NOVA, Publicación Científica en Ciencias Biomédicas, 2014.
85. **ECHVERRI, Janeth.** *Dinámica del fósforo en suelo-planta en regiones tropicales.* Medellín : Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Biociencias, 2018.
86. **K+S Minerals and Agriculture GmbH.** K+S Minerals and Agriculture. [En línea] 2019. [Citado el: 28 de abril de 2022.] http://www.ks-minerals-and-agriculture.com/eses/fertiliser/advisory_service/nutrients/phosphorus.html#:~:text=Influencia%20del%20valor%20del%20pH,de%20la%20fijaci%C3%B3n%20del%20f%C3%B3sforo
87. **YARA, Knowledge grows Perú.** Yara Knowledge grows. [En línea] [Citado el: 28 de abril de 2022.] <https://www.yara.com.pe/nutricion-vegetal/trigo/aumentar-numero-de-tallos-y-hojas/>
88. **CERÓN RINCÓN, Laura; ARISTIZÁBAL GUTIÉRREZ, Fabio.** *Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos.* Bogotá : Instituto de Biotecnología Universidad Nacional de Colombia [IBUN], 2012. Vol. XIV.
89. **KLOTZ, Martin G.; STEIN, Lisa Y.** *Nitrifier genomics and evolution of the nitrogen cycle.* Estados Unidos : FEMS Microbiol Lett., 2008. págs. 146-156.
90. **GARCÍA, Fernando O.** *Dinámica de nutrientes en el suelo-planta.* Minga Guazú-Paraguay : International Plan Nutrition Institute [IPNI], 2008.

91. **ALCONADA MAGLIANO, Margarita M.; LANFRANCO, Jorge W.; PELLEGRINI, Andrea E.** *Suelo en el paisaje. Parte 1. Condiciones de dotación.* Buenos Aires, Argentina : Universidad Nacional de La Plata, 2018. 978-987-4127-48-8.
92. **K+S Minerals and Agriculture GmbH.** K+S Minerals and Agriculture. [En línea] 2019. [Citado el: 29 de abril de 2022.] http://www.ks-minerals-and-agriculture.com/eses/fertiliser/advisory_service/nutrients/magnesium.html#:~:text=Din%C3%A1mica%20del%20magnesio%20en%20el,pero%20en%20forma%20muy%20lenta
93. **SANZANO, Agustín.** *Química del suelo - El Potasio.* Tucumán : Cátedra de Edafología, Facultad de Agronomía y Zootecnia, Universidad Nacional de Tucumán [UNT], 2019.

ANEXOS

Anexo 1

Tabla 10. Matriz de consistencia

Problema de investigación	Objetivos	Hipótesis	Variables e indicadores	Metodología	Población y muestra
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable	Tipo de investigación	Población
<ul style="list-style-type: none"> ¿Cuáles son las características de la urna biodegradable como alternativa ambiental de sepultura, Arequipa, 2021? 	<ul style="list-style-type: none"> Describir las características de la urna biodegradable como alternativa ambiental de sepultura, Arequipa, 2021. 		Urna biodegradable como alternativa ambiental de sepultura. <hr/> Indicadores	La presente investigación es de tipo aplicada con enfoque cuantitativo y alcance descriptivo. <hr/> Diseño de investigación	Se tiene como población todos los residuos y materia orgánica capaz de ser utilizada como materia prima para la elaboración de productos biodegradables. Muestra Como muestra la investigación está centrada en el uso de la cáscara de huevo como materia prima principal para la elaboración de la urna biodegradable por sus capacidades de degradación y desempeño al momento de su elaboración e implementación.
Problemas específicos <ul style="list-style-type: none"> ¿Cómo es la degradación de los materiales que componen la urna biodegradable como alternativa ambiental de sepultura, Arequipa, 2021? ¿Cuál es el comportamiento de los nutrientes en el suelo postsepultura de la urna biodegradable como alternativa ambiental de sepultura, Arequipa, 2021? 	Objetivos específicos <ul style="list-style-type: none"> Caracterizar la degradación de los materiales que componen la urna biodegradable como alternativa ambiental de sepultura, Arequipa, 2021. Analizar el comportamiento de los nutrientes en el suelo postsepultura de la urna biodegradable como alternativa ambiental de sepultura, Arequipa, 2021. 	<ul style="list-style-type: none"> Existen características en la urna biodegradable que la hace una buena alternativa ambiental de sepultura. 	Variación de los nutrientes en: mg/kg de N y P meq/100 g de K, Ca y Mg Del 1 a 14 pH	La presente investigación tiene un diseño no experimental de corte transversal, teniendo por propósito caracterizar el desempeño de biodegradación de los materiales seleccionados y analizar el comportamiento de los nutrientes y pH del suelo post sepultura de la urna biodegradable.	Técnicas Observación Análisis en laboratorio Instrumentos Registro de campo Microsoft Excel Estadística Univariada Datos cuantitativos procesados en Excel

Anexo 2

Tabla 11. Operacionalización de la variable

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Subdimensiones	Indicadores
Urna biodegradable como alternativa ambiental de sepultura.	Urna cineraria fabricada con materiales que al degradarse en el tiempo no suponen un impacto negativo en el suelo.	Urna cineraria elaborada con materiales que serán evaluados a través del tiempo de su degradación y analizado químicamente su comportamiento en cuanto N, P, K, Ca, Mg y pH. Comportamiento de nutrientes	Características a través del tiempo de degradación	pH N, P K, Ca, Mg	Número de días 1 al 14 mg/kg meq/100 g

Anexo 4

Cadena de custodia segundo análisis de suelo



ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.T.R.L.

L: F-LAB-11.4
R: 02
I.V.: 2021-Nov-18

CADENA DE CUSTODIA AGRONOMÍA

CLIENTE: Juan Jeanpaul Peralta Guillén **R.U.C.:** 72650922

CONTACTO: Biologo Giancarlo **MÓVIL/TEL:** 971423221

CORREO: peralta.guillen.jeanpaul@gmail.com **CÓDIGO DE PROFORMA ALAB:** 2021-715

MATRICES			
Material Vegetal (1)	Suelo (2)	Agua (3)	Fertilizantes (4)
SUB MATRICES			
Hoja (A)	Para Cultivo en Limpio (A)	Subterráneas (A)	Orgánico (A)
Pecíolo (B)	Para Cultivo Permanente (B)	Superficial (B)	Inorgánico(B)
Flores (C)	Para Pastos (C)	Tratada (C)	
Fruto (D)	Para Producción Forestal (D)		
Raíz (E)	De Protección (E)		
Tallo (F)			
Corona (G)			
Otras Matrices y Sub-Matrices, especificar:			

FUNDO / PROYECTO: Proyecto de tesis - Juan Peralta Guillén **FECHA DE MUESTREO:** 15/12/2021

LOTE/PARCELA: H-15 La Encalada **MUESTREADO POR:** Juan Peralta Guillén

CULTIVO: Flepol, alfalfa, arbustivo

NOTAS DEL CULTIVO:
(Cuando aplique)

OBSERVACIONES INTERNAS:

MATRIZ - SUB MATRIZ	DETALLE DE LA MUESTRA (Lote / Fenología / Descripción, etc.)	Codigo de Servicio	CÓDIGO MUESTRA (llenar por personal de ALAB)	ORDEN SERVICIO (llenar por personal de ALAB)	INFORME DE ENSAYO
2	H-15 / M, P, K, Ca, Mg, Na	6385	65408	6385-2021	21-17195

Codigos de Servicio:

SAG-0001: Suelo Caracterización completa AGR-0001: Agua Físico - Químico FTAG-0001: Fertilizante Orgánico Físico - Químico

TVEG-0001: Material Vegetal Macro y micronutrientes AGR-0016: Agua Metales Pesados FTAG-0016: Fertilizante Inorgánico (As, Hg, Cd, Pb)

SEDE PRINCIPAL	SEDE OPERATIVA	SEDE AREQUIPA	SEDE PIURA
 Prof. Zaramilla Mz D2 Lta3, Bellavista, Callao ☎ +511 7130636 Cel. 981 257 164	Av. Guardia Chalaca 1877, Bellavista, Callao ☎ +511 7130791 Cel. 946 430 972	Urbanización Tahuaycari Mz C Lte 27, Sachaca, Arequipa. ☎ +054 7616843 Cel. 960 126 078	Calle Los Ebanos Mz G LT 17 Urb. Miraflores II Etapa, Piura ☎ +073 542335 Cel. 919 475 133

Anexo 6

Primer informe de ensayo de laboratorio



INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-15089

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL : Jair Jeanpaul Peralta Guillén
2.-DIRECCIÓN : Urb. La Encalada H-15 J.L.B.yR.
3.-PROYECTO : TESIS
4.-PROCEDENCIA : Arequipa
5.-SOLICITANTE : JAIR JEANPAUL PERALTA GUILLÉN
6.-ORDEN DE SERVICIO N° : 000005713-2021-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : NO APLICA
8.-MUESTREO POR : EL CLIENTE
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 2021-11-30

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO : Suelos
2.-NÚMERO DE MUESTRAS : 1
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA : 2021-11-18
4.-PERÍODO DE ENSAYO : 2021-11-18 al 2021-11-30

Eder Sergio Recuay Granados
Supervisor de laboratorio Agronomía
Ing. Químico
CIP N° 221809



Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.
No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L.
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-15089

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Bases Disponibles (Ca, Mg, K y Na) ^(*)	Manual de Procedimientos de los Análisis de Suelos y Agua con Fines de Riego, Ítem 4.6.3	Saturación con Acetato de Amonio 1N pH 7.0. Lectura en Espectrofotómetro
Fósforo Disponible ^(*)	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, AS-10, Ítem 7.1.10	Método de Olsen Modificado, Extractor NaHCO3 0.5M, pH 8.5
Nitrógeno Total ^(*)	NOM-021-AS 08/SMWEE Part 4500 NH3 D, 4500NO2B, 4500NO3 E	Nitrógeno Total - Suelo

"NOM" : Norma Oficial Mexicana

^(*) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-15089

IV. RESULTADOS

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-21-56860
CÓDIGO DEL CLIENTE:				LA ENCALADA H-15
COORDENADAS:				NO APLICA
UTM WGS 84:				NO APLICA
PRODUCTO:				SUELOS
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA
FECHA y HORA DE MUESTREO:				15-11-2021 00:00
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Fósforo Disponible (**)	mg/Kg	2,00	6,00	6,90
Nitrógeno Total (**)	mg/Kg	50	150	655
Bases Disponibles (Ca, Mg, K y Na)				
Calcio Disponible (**)	meq/100g	0,03	0,10	20,40
Magnesio Disponible (**)	meq/100g	0,01	0,03	1,43
Potasio Disponible (**)	meq/100g	0,01	0,03	0,70
Relación (Ca+Mg)/K Disponible (**)	no unidad	NA	NA	31,2
Relación Ca/Mg Disponibles (**)	no unidad	NA	NA	14,3
Sodio Disponible (**)	meq/100g	0,01	0,03	1,18
Suma de Bases Disponibles (**)	meq/100g	NA	NA	23,71

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<=" Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

Anexo 7

Segundo informe de ensayo de laboratorio



INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-17195

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL : Jair Jeanpaul Peralta Guillén
2.-DIRECCIÓN : Urb. La Encalada H-15 J.L.B.yR.
3.-PROYECTO : ANÁLISIS DE SUELO
4.-PROCEDENCIA : Arequipa
5.-SOLICITANTE : JAIR JEANPAUL PERALTA GUILLÉN
6.-ORDEN DE SERVICIO N° : 000006385-2021-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : -
8.-MUESTREADO POR : ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 2021-12-28

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO : Suelos
2.-NÚMERO DE MUESTRAS : 1
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA : 2021-12-17
4.-PERIODO DE ENSAYO : 2021-12-17 al 2021-12-28

Eder Sergio Recuay Granados
Supervisor de laboratorio Agronomía
Ing. Químico
CIP N° 221809



Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.
No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-17195

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Bases Disponibles (Ca, Mg, K y Na) ^(*)	Manual de Procedimientos de los Análisis de Suelos y Agua con Fines de Riego, Ítem 4.6.3	Saturación con Acetato de Amonio 1N pH 7.0. Lectura en Espectrofotómetro
Fósforo Disponible ^(*)	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, AS-10, ítem 7.1.10	Método de Olsen Modificado, Extractor NaHCO3 0.5M, pH 8.5
Nitrógeno Total ^(*)	NOM-021-AS 08/SMWEE Part 4500 NH3 D, 4500NO2B, 4500NO3 E	Nitrógeno Total - Suelo
Preparación de Muestras Suelos ^(*)	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, AS-01, ítem 7.1.1	Preparación de Suelos Agrícolas

NOM : Norma Oficial Mexicana

^(*) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-17195

IV. RESULTADOS

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-21-65408
CÓDIGO DEL CLIENTE:				ENCALADA H-15
COORDENADAS:				NO APLICA
UTM WGS 84:				NO APLICA
PRODUCTO:				SUELOS
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA
FECHA y HORA DE MUESTREO:				15-12-2021 00:00
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Fósforo Disponible (**)	mg/Kg	2,00	6,00	10,82
Nitrógeno Total (**)	mg/Kg	50	150	675
Preparación de Muestras Suelos (**)	no unidad	NA	NA	FINALIZADO
Bases Disponibles (Ca, Mg, K y Na)				
Calcio Disponible (**)	meq/100g	0,03	0,10	19,49
Magnesio Disponible (**)	meq/100g	0,01	0,03	1,41
Potasio Disponible (**)	meq/100g	0,01	0,03	0,81
Relación (Ca+Mg)/K Disponible (**)	no unidad	NA	NA	25,8
Relación Ca/Mg Disponibles (**)	no unidad	NA	NA	13,8
Sodio Disponible (**)	meq/100g	0,01	0,03	1,13
Suma de Bases Disponibles (**)	meq/100g	NA	NA	22,83

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<=" Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.

-.: No ensayado

NA: No Aplica

"FIN DE DOCUMENTO"

Anexo 8

Tercer informe de ensayo de laboratorio



INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-448

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL : Jair Jeanpaul Peralta Guillén
2.-DIRECCIÓN : Urb. La Encalada H-15 J.L.B.yR.
3.-PROYECTO : ANÁLISIS DE SUELO
4.-PROCEDENCIA : Arequipa
5.-SOLICITANTE : JAIR JEANPAUL PERALTA GUILLÉN
6.-ORDEN DE SERVICIO N° : 0000000121-2022-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : -
8.-MUESTREADO POR : ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 2022-01-24

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO : Suelos
2.-NÚMERO DE MUESTRAS : 1
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA : 2022-01-14
4.-PERIODO DE ENSAYO : 2022-01-14 al 2022-01-24

Eder Sergio Recuay Granados
Supervisor de laboratorio Agronomía
Ing. Químico
CIP N° 221809



Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.
No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-448

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Bases Disponibles (Ca, Mg, K y Na) ^(*)	Manual de Procedimientos de los Análisis de Suelos y Agua con Fines de Riego, Ítem 4.6.3	Saturación con Acetato de Amonio 1N pH 7.0. Lectura en Espectrofotómetro
Fósforo Disponible ^(*)	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, AS-10, ítem 7.1.10	Método de Olsen Modificado, Extractor NaHCO3 0.5M, pH 8.5
Nitrógeno Total ^(*)	NOM-021-AS 08/SMWEE Part 4500 NH3 D, 4500NO2B, 4500NO3 E	Nitrógeno Total - Suelo
Preparación de Muestras Suelos ^(*)	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, AS-01, ítem 7.1.1	Preparación de Suelos Agrícolas

NOM : Norma Oficial Mexicana

^(*) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-448

IV. RESULTADOS

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-22-02045
CÓDIGO DEL CLIENTE:				MUESTRA SUELO
COORDENADAS:				NO APLICA
UTM WGS 84:				NO APLICA
PRODUCTO:				SUELOS
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA
FECHA y HORA DE MUESTREO:				13-01-2022 00:00
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Fósforo Disponible (**)	mg/Kg	2,00	6,00	6,89
Nitrógeno Total (**)	mg/Kg	50	150	502
Preparación de Muestras Suelos (**)	no unidad	NA	NA	FINALIZADO
Bases Disponibles (Ca, Mg, K y Na)				
Calcio Disponible (**)	meq/100g	0,03	0,10	18,24
Magnesio Disponible (**)	meq/100g	0,01	0,03	1,07
Potasio Disponible (**)	meq/100g	0,01	0,03	0,97
Relación (Ca+Mg)/K Disponible (**)	no unidad	NA	NA	19,8
Relación Ca/Mg Disponibles (**)	no unidad	NA	NA	17,0
Sodio Disponible (**)	meq/100g	0,01	0,03	1,69
Suma de Bases Disponibles (**)	meq/100g	NA	NA	21,98

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<=" Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.

-.: No ensayado

NA: No Aplica

"FIN DE DOCUMENTO"

Anexo 9
Material fotográfico



Figura 25. Cáscaras de huevo lavadas y secadas



Figura 26. Trituración de cáscaras de huevo mediante batán



Figura 27. Materia prima principal triturada en partículas pequeñas



Figura 28. Adición de 250 gramos de chía a 600 gramos de cáscara de huevo



Figura 29. Adición de 30 gramos de bicarbonato de sodio y grenetina c/u y 300 ml de agua



Figura 30. Moldeo de la masa preparada



Figura 31. Disposición de las urnas elaboradas al horno



Figura 32. Aplicación de capa adicional externa de gretina



Figura 33. Refrigeración postaplicación de la gretina



Figura 34. Muestra del suelo



Figura 35. Materiales complementarios: pelo, posos de café y cenizas



Figura 36. Adición de materiales complementarios



Figura 37. Urnas biodegradables listas para sepultura



Figura 38. Entierro de las 3 repeticiones de urna biodegradable



Figura 39. Riego periódico del suelo



Figura 40. Toma de muestra periódica para evaluación de pH



Figura 41. Evaluación de pH



Figura 42. Día 70: observación final de las 3 urnas biodegradables