

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**MAESTRIA EN GESTIÓN AMBIENTAL**



**Evaluación de la calidad del Biosólido de la laguna de estabilización  
Campo Amor y su uso en el suelo deforestado en la zona de Conchal  
Rosillo, distrito de Aguas Verdes, provincia de Zarumilla y  
departamento de Tumbes**

**Autor: Handry Martin Rodas Purizaga**

**Tumbes, 2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**MAESTRIA EN GESTIÓN AMBIENTAL**



**Evaluación de la calidad del Biosólido de la laguna de estabilización  
Campo Amor y su uso en el suelo deforestado en la zona de Conchal  
Rosillo, distrito de Aguas Verdes, provincia de Zarumilla y  
departamento de Tumbes.**

**Tesis aprobada en forma y estilo por:**

**Dr. Enrique Edison Benites Juárez (Presidente):** \_\_\_\_\_

**Dr. Leocadio Malca Acuña (Miembro):** \_\_\_\_\_

**Mg. Néstor Delfín Díaz Castillo (Miembro):** \_\_\_\_\_

**Tumbes, 2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**MAESTRIA EN GESTIÓN AMBIENTAL**



**Evaluación de la calidad del Biosólido de la laguna de estabilización  
Campo Amor y su uso en el suelo deforestado en la zona de Conchal  
Rosillo, distrito de Aguas Verdes, provincia de Zarumilla y  
departamento de Tumbes.**

**Los suscritos declaramos que la tesis es original en su contenido y  
forma:**

**Ing. Handry Martin Rodas Purizaga (Autor):** \_\_\_\_\_

**Dr. Miguel Antonio Puestas Chully (Asesor):** \_\_\_\_\_

**Dr. Gerardo Juan F. Cruz Cerro (Co asesor):** \_\_\_\_\_

**Tumbes, 2019**

## **DERECHO DE AUTOR**

Yo, Handry Martin Rodas Purizaga, identificado con documento de identidad N° 42973513, Ingeniero Forestal y del Medio Ambiente de la Universidad Nacional de Tumbes – Perú, maestrante del programa académico de maestría en Gestión Ambiental 2015 - I de la Escuela de Post-Grado de la Universidad Nacional de Tumbes.

### **DECLARO:**

Que el proyecto de investigación “Evaluación de la calidad del Biosólido de la laguna de estabilización Campo Amor y su uso en el suelo deforestado en la zona de Conchal Rosillo, distrito de Aguas Verdes, provincia de Zarumilla y departamento de Tumbes” presentado por mi persona es de mi autoría el mismo que permitió analizar el efecto del biosólido en el proceso de regeneración de las especies y el aporte de nutrientes y características físico-químicas elementales para el desarrollo de las especies afectadas por la actividad de deforestación, así mismo indico también que para el desarrollo del mismo aplicare todo el conocimiento adquirido en las Aulas de la Escuela de Posgrado de la Universidad nacional de Tumbes.

---

Ing. Handry Martin Rodas Purizaga

DNI N° 42973513

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES ESCUELA DE POSGRADO

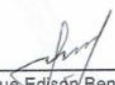
## ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS


En Tumbes, a los diez días del mes de setiembre del año dos mil diecinueve, a las ONCE horas, en LA AULA 01 DE LA ESCUELA DE POSGRADO, se reunieron los miembros del jurado designados con Resolución Directoral N° 024-2018/UNTUMBES-EPG-D; Dr. Enrique Edinson Benites Juárez - Presidente; Dr. Leocadio Malca Acuña - Secretario; Mg. Néstor Delfín Díaz Castillo – Vocal y con Resolución Directoral N° 0164-2019/UNTUMBES-EPG-D, se fijó la fecha se sustentación y defensa de la tesis: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL BIOSÓLIDO DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN CAMPO AMOR Y SU USO EN EL SUELO DEFORESTADO EN LA ZONA DE CONCHAL ROSILLO, DISTRITO DE AGUAS VERDES, PROVINCIA DE ZARUMILLA Y DEPARTAMENTO DE TUMBES, presentado por la egresado del Programa de Maestría en Ciencias con mención en Gestión Ambiental Br. Handry Martin Rodas Purizaga, asesorado por el Dr. Miguel Antonio Puestas Chully y Coasesor al Dr. Gerardo Juan Francisco Cruz Cerro.

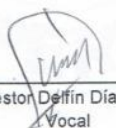
Concluida la exposición y sustentación, absueltas las preguntas y efectuadas las observaciones, lo declaran: APROBADO POR UNANIMIDAD, dando cumplimiento al Art. 29° del Reglamento de Investigación con fines de Graduación en la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes.

Siendo las 12,35 horas, se dio por concluido el acto académico, y dando conformidad se procedió a firmar la presente acta en presencia del público.

Tumbes, 10 de setiembre de 2019.

  
Dr. Enrique Edinson Benites Juárez  
Presidenta

  
Dr. Leocadio Malca Acuña  
Secretario

  
Mg. Néstor Delfín Díaz Castillo  
Vocal

## DEDICATORIA

*A mis padres, Maritza Asunciona Purizaga Sorroza y Lito Eduardo Navarro Zarate por siempre apoyarme en todo momento en la realización de este estudio, a mis compañeros de estudios y amigos íntimos Cristhian Saldarriaga Sánchez y Oscar Ortiz Saavedra por su apoyo en la recopilación de datos y trabajo de campo, a mi hijo Fabricio Sebastian Rodas Enciso que me inspira a ser una mejor persona, padre y profesional.*

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por darme la tenacidad y voluntad de poderme desarrollar como profesional y haber logrado completar mi maestría en Gestión Ambiental.

A mi Asesor y coasesor Dr. Ing. Miguel Antonio Puestas Chully y Dr. Juan Francisco Gerardo Cruz Cerro por el apoyo en la elaboración de la tesis.

A la Universidad Nacional de Tumbes, en especial a la escuela de Ingeniería forestal y medio ambiente por brindarme las instalaciones de los laboratorios para realizar mis análisis.

# ÍNDICE GENERAL

	Página
I. RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
II. INTRODUCCIÓN.....	14
III. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA. ....	16
3.1. ELEMENTOS TEÓRICOS .....	16
3.2. CONCEPTOS BÁSICOS. ....	22
3.3. ANTECEDENTES.....	25
IV. MATERIALES Y METODOS.....	28
4.1. LUGAR Y PERIODO DE EJECUCIÓN.....	28
4.2. TIPO DE ESTUDIO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	29
4.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO. ....	30
4.4. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS .....	43
V. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	49
5.1. RESULTADOS .....	49
5.1.1. Variable De Crecimiento .....	49
5.1.2. Análisis de la regeneración natural .....	54
5.1.3. Variables del efecto del biosólidos sobre el suelo .....	56
5.1.4. Resultados del análisis del lodo y biosólido.....	56
5.1.5. Resultados del análisis del suelo .....	59
5.1.6. Evaluación de la calidad del biosólido para uso forestal.....	63
5.2. DISCUSIÓN. ....	64
VI. CONCLUSIONES.....	67
VII. RECOMENDACIONES. ....	69

<b>VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>71</b>
<b>IX. ANEXOS .....</b>	<b>76</b>
<b>Anexo 1: Panel Fotográfico.....</b>	<b>76</b>
<b>Anexo 1: Panel Fotográfico Continuación.....</b>	<b>77</b>
<b>Anexo 2: Plano de ubicación y perimétrico de Laguna Campo Amor.....</b>	<b>79</b>
<b>Anexo 3: Plano de ubicación y perimétrico de Parcelas de Muestreo.....</b>	<b>80</b>
<b>Anexo 4: Plano distribución especies arbóreas en P1.....</b>	<b>81</b>
<b>Anexo 5: Plano distribución especies arbóreas en P2.....</b>	<b>82</b>
<b>Anexo 6: Plano distribución especies arbóreas en P3.....</b>	<b>83</b>
<b>Anexo 7: Plano distribución especies arbóreas en P4.....</b>	<b>84</b>
<b>Anexo 8: Plano distribución especies arbóreas en P5.....</b>	<b>85</b>
<b>Anexo 9: Plano distribución especies arbóreas en P6.....</b>	<b>86</b>
<b>Anexo 10: Universidad Nacional de Piura Informe de Ensayo 085-2018 .....</b>	<b>87</b>
<b>Anexo 11: Universidad Nacional de Piura Informe de Ensayo 085-2018 -B.....</b>	<b>88</b>
<b>Anexo 12: Universidad Nacional de Piura Informe de Ensayo 085-2018-C.....</b>	<b>89</b>

## **INDICE DE CUADROS**

	<b>Página</b>
<b>Cuadro 1. Población y tasas de crecimiento intercensal. ....</b>	<b>29</b>
<b>Cuadro 2: Especies arbóreas y arbustivas halladas en las Parcelas. ....</b>	<b>31</b>
<b>Cuadro 3: Áreas correspondientes según parcelas y tipo de tratamiento.....</b>	<b>31</b>
<b>Cuadro 4: Parámetros de higienización para biosólido de clase B. ....</b>	<b>45</b>
<b>Cuadro 5: Parámetros de metales pesados para biosólidos.....</b>	<b>45</b>
<b>Cuadro 6: Parámetros de físico-químicos considerados en el análisis de la relación suelo-planta.....</b>	<b>46</b>

<b>Cuadro 7: Parámetros de higienización según normativa nacional e internacional para uso de biosólidos de clase B y C. ....</b>	<b>47</b>
<b>Cuadro 8: Parámetros de metales pesados según normativa nacional e internacional para biosólidos en uso forestal. ....</b>	<b>47</b>
<b>Cuadro 9: Criterios para la categorización de biosólidos para la actividad de deforestación. ....</b>	<b>48</b>
<b>Cuadro 10: Promedio de alturas en metros para las parcelas evaluadas. ....</b>	<b>49</b>
<b>Cuadro 11: Análisis de varianza y prueba de medias de Tukey para la variable de crecimiento de HT por parcela. ....</b>	<b>50</b>
<b>Cuadro 12: Promedio de crecimiento en metros por especie según tipo de tratamiento. ....</b>	<b>52</b>
<b>Cuadro 13 Análisis de varianza y prueba de medias de Tukey para la variable del promedio de crecimiento por especie. ....</b>	<b>52</b>
<b>Cuadro 14: Especies de regeneración natural y su crecimiento final. ....</b>	<b>54</b>
<b>Cuadro 15: Análisis de varianza, prueba de medias de Tukey para la variable de altura final para la regeneración natural (RG).....</b>	<b>55</b>
<b>Cuadro 16: Propiedades físico-químicas de las muestras M01 y M02 de la laguna Campo Amor. ....</b>	<b>57</b>
<b>Cuadro 17: Comparación del biosólido de la laguna de campo amor con la legislación nacional e internacional. ....</b>	<b>58</b>
<b>Cuadro 18: Propiedades físico-químicas de los suelos de las seis parcelas de muestreo. ....</b>	<b>59</b>
<b>Cuadro 19: Agentes patógenos de los suelos de las seis parcelas de muestreo. ....</b>	<b>61</b>
<b>Cuadro 20: Metales pesados de los suelos de las seis parcelas de muestreo.....</b>	<b>62</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Figura 1:</b> P3 – parcela con aplicación del biosólido.....	29
<b>Figura 2:</b> P5 – parcela sin aplicación del biosólido.....	30
<b>Figura 3:</b> Extracción de lodo crudo de uno de los puntos de muestreo de la laguna de Campo Amor. ....	34
<b>Figura 4:</b> Depósito de lodo crudo en la zona de intervención del proyecto. ....	34
<b>Figura 5:</b> Aplicación de CAL al lodo crudo para su estabilización. ....	35
<b>Figura 6:</b> Esparcimiento del biosólido en las parcelas del tratamiento T <sub>1</sub> .....	35
<b>Figura 7:</b> Medición de la altura total (HT) a especie forestal con biosólido en la segunda quincena de evaluación. ....	37
<b>Figura 8:</b> Toma de coordenadas de cada especie para su evaluación individual y por tipo de especie. ....	37
<b>Figura 9:</b> Toma de muestras de lodo crudo para análisis en <b>laboratorio</b> . ....	39
<b>Figura 10:</b> Aplicación de CAL para la estabilización del lodo crudo y así obtener biosólido para ser llevadas a laboratorio. ....	39
<b>Figura 11:</b> Contenedores para Etiquetado y envasado de la muestra para ser llevados a laboratorio. ....	40
<b>Figura 12 A</b> recolección, Etiquetado y envasado de la muestra <b>12-B</b> -Contenedor para el transporte de la muestra para ser llevados a laboratorio.....	41
<b>Figura 13:</b> Medición de temperatura del suelo a nivel de superficie. ....	42
<b>Figura 14:</b> Medición de humedad relativa del suelo a profundidad de 15 cm.....	42
<b>Figura 15:</b> Toma de muestra de suelo en una calicata a 15 cm de profundidad. ....	43

## I. RESUMEN

La presente investigación realizada en la zona de Conchal Rosillo, caserío de Cuchareta Baja, distrito de Aguas Verdes, provincia de Zarumilla en el departamento de Tumbes, tuvo como objetivo evaluar el efecto del biosólido proveniente de laguna campo amor para combatir la deforestación, en la que se determinó que la calidad del biosólido de esta laguna se encuentra en la categoría de bueno. La evaluación se realizó en 6 parcelas, en diferentes sitios de la misma zona. Para la evaluación del crecimiento se evaluó crecimiento de Altura total (HT), para la evaluación del suelo se realizaron análisis en laboratorio de parámetros microbiológicos, físico – químicos y metales pesados, para ser comparados con la normativa nacional e internacional que regulan el aprovechamiento de biosólidos. Se identificó el crecimiento de las especies arbóreas y arbustivas, el aporte de nutrientes y toxicidad de algunos parámetros como metales pesados y agentes patógenos según tratamiento; todo dio como resultado que el mejor crecimiento en la altura total lo obtuvo la parcela P3, la cual tenía aplicación del biosólido con 26 especies arbóreas de las 124 especies muestreadas en total para tal fin. En cuanto al aporte al suelo, el biosólido aumento el potencial redox en un 24% al suelo a las parcelas con aplicación de este y un aumento bajo en Ni y Zn, oligoelementos que ayudaron al crecimiento en altura de las plantas por el engrosamiento de las raíces. Los resultados de la comparación de las normativas legales nacionales e internacionales, el biosólido salido de la laguna están dentro de los parámetros permisibles (LMP) para ser considerados biosólidos y se encuentra en la clasificación B (para uso forestal), por lo cual es ideal para utilizarse como sustrato en actividades de recuperación de áreas degradadas por la actividad de deforestación.

**Palabras clave:** oligoelementos, biosólido, límites máximos permisibles y deforestación

## ABSTRACT

The present investigation carried out in the area of Conchal Rosillo, hamlet of Cuchareta Baja, district of Aguas Verdes, province of Zarumilla in the department of Tumbes, had the objective of evaluating the effect of the biosolid coming from the lagoon of the love field to combat deforestation, in the It was determined that the biosolid quality of this lagoon is in the category of good. The evaluation was carried out in 6 plots at different sites in the same area. For the growth evaluation, the Total Height (HT) growth variable was evaluated and for the soil evaluation, laboratory analyzes of microbiological, physical - chemical and heavy metals parameters were performed, to be compared with the national and international regulations that regulate the use of biosolids. The growth of tree and shrub species, the contribution of nutrients and toxicity of some parameters such as heavy metals and pathogens according to treatment were identified; all resulted in the best growth in total height obtained by plot P3, which had application of the biosolid with 26 tree species of the 124i species sampled in total for that purpose. As for the contribution to the soil, the biosolids increased the redox potential by 24% to the soil to the plots with application of this and a low increase in Ni and Zn, trace elements that helped the growth in height of the plants by the thickening of the estate. The results of the comparison of national and international legal regulations, the biosolide left from the lagoon are within the permissible parameters (LMP) to be considered biosolids and is in the B classification (for forest use), so it is ideal to be used as a substrate in recovery activities of areas degraded by deforestation activity.

**Keywords:** trace elements, biosolids, maximum permissible limits and deforestation.

## II. INTRODUCCIÓN

La investigación está basada en la comprobación y experimentación de los lodos de depuración de la laguna de estabilización ubicada en el asentamiento humano de Campo Amor ubicada a 4.40 km de distancia en la zona llamada “Conchal Rosillo”, donde se realizó la evaluación en campo para ayudar a la regeneración de especies arbóreas de bosque seco producto de la actividad de deforestación; mediante este estudio se evaluó la relación entre suelo y planta mediante la aplicación del sustrato (biosólidos), esto para promover el crecimiento de las plantas y mejorar la composición del suelo.

En este estudio se evaluó el crecimiento progresivo de las especies arbóreas y arbustivas de bosque seco mediante la medición de su altura vertical de las plantas y la evaluación de parámetros microbiológicos, físico-químicos y metales pesados del suelo, estos se desarrollaron en laboratorio para poder analizar los efectos de biosólido en la relación suelo planta; esto con el fin de clasificar la calidad del biosólido para mejorar las condiciones del suelo en este tipo de bosques.

Se realizó el análisis estadístico de crecimiento de altura de las plantas por parcelas, tratamiento y por tipo de especie, mediante programas especializados de estadística y proceso de la información numérica y gráfica, descritos en la metodología, con el objetivo de analizar el efecto del biosólido en el proceso de regeneración de las especies y el aporte de nutrientes y características físico-químicas elementales para el desarrollo de las especies afectadas por la actividad de deforestación; así mismo mediante este análisis se determinó la calidad del biosólido proveniente de la laguna

Campo Amor para el desempeño de crecimiento de las plantas y mejorador de las características de suelos en los bosques seco de la región.

### III. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA.

#### 3.1. ELEMENTOS TEÓRICOS

Según Zuluaga (2007): *“Los lodos estabilizados o biosólidos son considerados residuos asimilables a urbanos y, aunque no pueden clasificarse como tóxicos ni peligrosos, si poseen contaminantes que obligan a su tratamiento”*.

La palabra contaminante según norma USA EPA, Federal Register. 40 CFR Part 503, en su legislación de utilización de lodos, es definido como: *“Un organismo patógeno o como una substancia orgánica o inorgánica o la combinación de ambas, que al tener contacto con un organismo por vía dérmica, ingestión o inhalación, directamente del medio ambiente o a través de la cadena alimenticia, pueda causar la muerte, inducir cáncer, producir enfermedades, alteración del comportamiento, mutaciones genéticas, malformaciones fisiológicas y/o físicas o daños teratogénicos”*.

Felipo (1995) señala que, La absorción de las plantas está fijada tanto por el elemento, su concentración y grado de disponibilidad, como por la especie vegetal y la interacción con macronutrientes. Además, que la biodisponibilidad de metales en el sistema suelo-planta por aporte de lodos se ha estimado a partir de los coeficientes de transferencia, observándose que el Cd y el Zn poseen los valores más elevados. En general parece que la bio disponibilidad es superior para Cd, Cu, Ni y Zn, que para Pb, Hg y Cr, pero incluso para los elementos más móviles la cantidad de metal trasladada al cultivo es inferior

a 0.05% de la cantidad aplicada anualmente por aporte de lodos de estabilización.

### **2.2.1. Contaminantes de los biosólidos:**

La calidad del biosólido depende principalmente de tres grupos de contaminantes principales:

- **Metales.**

Especialmente el zinc (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni), cadmio (Cd), plomo (Pb), mercurio (Hg) y cromo (Cr); por su potencial de acumulación en los tejidos humanos y su bio-magnificación suscitan preocupaciones. “Los metales se encuentran presentes, en concentraciones bajas, en las aguas residuales domésticas; pero las concentraciones que son más preocupantes son las que se encuentran en las aguas residuales industriales.”

Zuluaga, *et. al*, 2012, señala que:

*“Los metales pesados se encuentran de manera natural en la litósfera, hidrósfera y atmósfera en concentraciones tales que por lo general no perjudican las diferentes formas de vida. Sin embargo, los procesos antrópicos han originado un gradual aumento puntual de dichas concentraciones en los diferentes componentes del edafón”.*

Según Stefanakis y Tsihrintzis (2012), determinaron que, “en un LSP del Carrizo Común *Phragmites australis* que recibía lodos de una PTAR de lodos activados, los metales Cr, Cd, Pb, Cu, Ni, Mn, Zn y

Fe no se distribuyeron en forma uniforme a través del lecho y tampoco se acumularon significativamente en las plantas. Los distintos metales fueron absorbidos por las plantas en forma desigual, en el siguiente orden, de mayor a menor:” Cr > Fe > Zn > Mn > Cu > Pb > Ni > Cd. Los Carrizos resultaron relativamente tolerante a las concentraciones de metales y no vieron señales de toxicidad, a pesar de absorber un poco más de metal cada año. Los metales pesados se concentraron más en las raíces que en los tallos u hojas y las cantidades absorbidas no fueron significativas, siendo menos del 3% del total de metales en los lodos.

- **Los Nutrientes y la materia orgánica.**

“Su peligrosidad radica en su potencial de eutroficación para las aguas subterráneas y superficiales. Sin embargo, se pueden considerar como fertilizantes valiosos al igual que la materia orgánica. Contaminantes orgánicos.

Los plaguicidas, disolventes industriales, colorantes, plastificantes, agentes tensoactivos y muchas otras moléculas orgánicas complejas, generalmente con poca solubilidad en agua y elevada capacidad de adsorción, suelen acumularse en los lodos.

Estos contaminantes son motivo de preocupación por sus efectos potenciales sobre el ambiente y la salud de las personas. Una cualidad más importante es su variado potencial de biodegradación.”

Muchos de estos se descomponen lentamente, por lo cual, los sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales con tiempos de residencia más largos, tendrán una mayor capacidad para biodegradar estos compuestos peligrosos. La biodegradación

también puede ocurrir después de esparcir los lodos en la tierra o durante el compostaje.

“El grupo de trabajo de la OMS sobre riesgos para la salud de los productos químicos presentes en los lodos residuales aplicados a las tierras, llegó a la conclusión de que la absorción total por el hombre, de contaminantes orgánicos procedentes de la aplicación de lodos a las tierras de cultivo, es poco importante y probablemente no causará efectos adversos para la salud.” Sin embargo, a pesar de que cada vez se investiga más el papel ecotoxicológico de los contaminantes orgánicos en el sistema suelo-planta-agua y en la cadena alimentaria, es aún poco claro. (Zuluaga, *et al.*, 2012).

- **Agentes patógenos.**

“Los agentes patógenos más importantes que se han encontrado en los lodos son las bacterias, los virus (especialmente enterovirus), los protozoos, los tremátodos, los céstodos y los nemátodos. Los residuos de animales sacrificados o muertos accidentalmente, los desechos hospitalarios y funerarios, entre otros, pueden elevar la carga y la diversidad de patógenos en el influente. Para que cualquier vertido de lodos sea seguro, se precisa la eliminación o la inactivación eficaz de estos patógenos.” A este fin, se puede aplicar a los lodos una serie de tratamientos, como la pasteurización, la digestión aerobia o anaerobia, el compostaje, la estabilización con cal, el almacenamiento en estado líquido, la deshidratación y el almacenamiento en seco. (Zuluaga, *et al.*, 2012).

### **2.2.2. Clasificación para biosólidos.**

Para la clasificación de biosólidos existen diferentes tipos de clasificación dependiendo de las normas legales que se utilicen para clasificarlos, pero mayormente se clasifican en A y B:

- **Biosólido Clase A**

Según el DS. 015-2017-VIVIENDA: *“los biosólidos son aquellos aplicables al suelo sin restricciones sanitarias”.*

Según la norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002: *“son de tipo excelente y su aprovechamiento son para usos urbanos con contacto al público directo durante su aplicación”*

- **Biosólido Clase B.**

Según el DS. 015-2017-VIVIENDA: *“Son aquellos aplicables al suelo con restricciones sanitarias según localización de los suelos y/o tipo de cultivo”.*

Según la norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002: *“son de tipo excelente o bueno y su aprovechamiento son para usos urbanos sin contacto publico directo durante su aplicación”.*

### **2.2.3. La deforestación.**

Para el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente: Más importante aún es que el índice de deforestación parece estar acelerándose. Más de 12.5 millones de hectáreas de bosques naturales (un área un poco más grande que Islandia) se pierden cada año.

También esta pérdida se da de manera irregular. “En los trópicos, donde vive la gran mayoría de las especies que se conocen en el mundo — haciendo de los bosques tropicales tanto el motor como el refugio de la biodiversidad— se pierden año con año 14.2 millones de hectáreas de bosques naturales; mientras que en los países industrializados templados y boreales, la cobertura forestal incrementa en un 1.7 millones de hectáreas por año.” (Lamberechts, 2001)

Según EPA, 2015 “La tala ilegal genera además entre US\$10 mil y 15 mil millones de dólares americanos anualmente en ganancias para las redes criminales involucradas. No obstante, nuevas legislaciones por parte de países consumidores de madera, tales como los Estados Unidos y la Unión Europea, que prohíben la importación de madera de origen ilegal, están generando transparencia y rendiciones de cuenta sin precedentes en lo que anteriormente era considerado un mercado en el que nadie hacía preguntas. Ninguna madera talada, transportada, procesada, vendida o comprada en violación de las leyes nacionales del país de origen es bienvenida en los mercados internacionales”.

Según la Zonificación Ecológica y Económica de la región Piura, hay 716,584 ha. “En proceso de desertificación, por deforestación 543,872 ha. (Estimado en Piura 20,822 ha. de bosques por año), por salinización, erosión hídrica y mal drenaje 172,712 ha. y lo demás se produce por incendios forestales, sobrepastoreo, conversión de bosques en tierras de cultivo y uso de leña para pollerías.” (Ronald Ruiz, 2014).

En un estudio se determinó los efectos de los lodos de aguas residuales al suelo, y dio como resultado que, los lodos anaeróbicamente digeridos y lodos de depuradora compostado (CSS) son utilizados en una liberación lenta como fertilizantes en el sector forestal y una alternativa

a los fertilizantes inorgánicos de liberación rápida. Los efectos de la CSS con o sin hidratos de carbono adicional en la disponibilidad de nitrógeno inorgánico y en los animales del suelo se pusieron a prueba en dos plantaciones de abeto en Noruega; donde la mitad de las plántulas fueron fertilizadas individualmente con CSS, y el resto quedaron como controles. Se añadió sacarosa sólida a la mitad de las plántulas fertilizadas y no tratados (Nieminen, *et al.*, 2013).

Muestras del terreno fueron tomadas en el otoño en el primer y segundo año después de los tratamientos, donde el resultado fue que el CSS dio un incremento al suelo de NH<sub>4</sub>-N al 2,100 % y la proporción de NO<sub>3</sub>-N, y la concentración de N a las agujas de abeto. CSS reduce considerablemente las abundancias de enquitreidos, tardígrados y colémbolos, pero aumentó la proporción y abundancia de nematodos que se alimentan de bacterias, independientemente de la adición de hidratos de carbono. Un mejor método de estabilización se necesita desarrollar antes de que se pueda utilizar CSS como un fertilizante bosque.

### **3.2. CONCEPTOS BÁSICOS.**

**3.2.1. Lodos.** - Según D.S. 015-2017-VIVIENDA en el capítulo 1 disposiciones generales y su artículo 3 definiciones, punto 16, los lodos son:

*“Residuos sólidos que provienen de los procesos de tratamiento de aguas residuales que poseen alta concentración de materia orgánica, característica que se aplica principalmente a lodos obtenidos en el tratamiento primario y tratamiento secundario, así como a las excretas de instalaciones sanitarias in situ”.*

Agentes patógenos. - Según la OMS (organización mundial de la salud) los agentes patógenos son: *“Las bacterias, hongos, protozoarios, virus, huevos de helmintos en lodos y/o biosólidos capaces de provocar enfermedades o epidemias en el ser humano y afectar la salud pública.”*

**3.2.2. Higienización.-** Según D.S. 015-2017-VIVIENDA en el capítulo 1 disposiciones generales y su artículo 3 definiciones, punto 13: *“Es el proceso de minimización de las concentraciones de patógenos e indicadores de contaminación de origen fecal de acuerdo con los límites establecidos en la legislación aplicable”.*

**3.2.3. Biosólido. -** Según D.S. 015-2017-VIVIENDA en el capítulo 1 disposiciones generales y su artículo 3 definiciones, punto 6:

*“Es el subproducto como consecuencia de la estabilización de la fracción orgánica de los lodos generados en el tratamiento de aguas residuales, con características físicas, químicas y microbiológicas que permiten su aprovechamiento como sustrato en el suelo. No se consideran biosólidos las cenizas productos de la incineración de lodos”.*

**3.2.4. Aplicación al suelo. -** Según D.S. 015-2017-VIVIENDA en el capítulo 1 disposiciones generales y su artículo 3 definiciones, punto 4: *“Es el procedimiento por el cual se incorporan, mezclan o se inyectan biosólidos al suelo, de acuerdo con lo establecido en la normativa, en función a las características físicas y/o biológicas a mejorarse”.*

- 3.2.5. Metales pesados.** - Que, según Marques *et al.* (2001): *“son elementos químicos que presentan masa específica mayor de 5 g cm<sup>-3</sup>, que según, pueden contribuir o estar asociados con problemas de contaminación”*.
- 3.2.6. Proceso de estabilización del lodo.** - Conforme a lo dicho por Fernandes (2000): *“los procesos de estabilización del lodo son para reducir los contenidos de microorganismos patógenos e inhibir, reducir y eliminar la emisión de sólidos volátiles y consecuentemente, su potencial de producción de olores que por a su vez, puede elevar y atraer vectores”*.
- 3.2.7. Indicadores de contaminantes de origen fecal.**- Según Ríos-Tobón S, Agudelo-Cadavid RM, Gutiérrez-Builes LA. Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. En el artículo de la Revista Fac. Nac. Salud Pública, 2017; 35(2): 236-247. DOI: 10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08 define los indicadores de contaminantes de origen fecal como: *“El grupo de coliformes termotolerantes indica el nivel de riesgo de presencia de agentes patógenos. Dentro del grupo existen indicadores específicos que se aplican en la norma peruana vigente tales como: Escherichia coli y Salmonella spp”*.
- 3.2.8. Reaprovechamiento.**- La definición extractada del “Plan Maestro de Basuras” para Bogotá, unidad ejecutiva de servicios públicos: *“Es la recuperación eficiente de los diferentes materiales presentes en los desechos, la cual puede realizarse mediante reutilización, reciclaje o incineración con generación de energía y compostaje”*.
- 3.2.9. Bosque.**- Según el programa FRA 2015 – Términos y Definiciones de la FAO el bosque se define como: *“Tierras que se extienden por más de 0,5 hectáreas dotadas de árboles de una altura superior a 5 metros y una cubierta de dosel superior al 10 por ciento, o de árboles capaces de alcanzar esta altura in situ. No incluye la tierra sometida a un uso predominantemente agrícola o urbano”*.

**3.2.10.** Deforestación. - Según el programa FRA 2015 – Términos y Definiciones de la FAO la deforestación se define como: *“La conversión de los bosques a otro tipo de uso de la tierra o la reducción permanente de la cubierta de dosel, por debajo del umbral mínimo del 10 por ciento”*.

### **3.3. ANTECEDENTES.**

En Norte América, los biosólidos de la instalación de tratamiento de aguas residuales de la planta de tratamiento Blue Plains, da servicio al Distrito de Columbia y a comunidades a los alrededores de Virginia y Maryland, se han aplicado al terreno desde que se iniciaron las operaciones de la planta en 1930. “Una parte de la producción de biosólidos de instalaciones ubicadas en las ciudades de Philadelphia, Chicago, Denver, Nueva York, Seattle y Los Ángeles es aplicada al terreno, la aplicación al terreno es mucho más fácil de disponer en lugares en donde se dispone de terrenos agrícolas cercanos a la producción de biosólidos; sin embargo, los avances en las actividades de transporte han hecho que la aplicación de biosólidos al terreno sean viables incluso en distancias de transporte mayores a 1,5 km.” Por ejemplo, “Philadelphia transporta los biosólidos deshidratados por 400 km para convertir los terrenos al oeste de Pennsylvania en terrenos utilizables, y New York City envía algunos de sus biosólidos a más de 3 km a Texas y Colorado.” (USA EPA 832-F-00-64 – parte 1, 2000).

“En el año 1995, aproximadamente el 54% de las plantas de tratamiento de aguas residuales, operaban biosólidos por medio de las actividades de aplicación al terreno, un aumento de casi el 20% en relación a la información reportada en 1993” (USA EPA 832-F-00-64 – parte 2, 2000). La mayoría de estos programas de aplicación al terreno utilizaban terrenos para la agricultura, con cantidades menores aplicadas a áreas de boscosas, terrenos para pastoreo, o zonas de recuperación.

El uso de biosólidos aplicados al terreno aumentó progresivamente en los 80s por diversas razones, incluyendo la disminución en la disponibilidad y el aumento de los costos asociados con la disposición en rellenos sanitarios.

La adopción de la Norma 503 en el año 1993 que se refiere al reúso de biosólidos como mejoradores de suelos, estableció una estructura para la aplicación consistente de los procedimientos a nivel nacional. (USA EPA, 1993).

“En el año 2010, el importe de biosólidos (previamente conocido como lodos de aguas residuales tratadas) que se generó en EE. UU., fue de aproximadamente de 7,2 millones de toneladas, un incremento de 0.1 millones de toneladas desde el año 2004” (Beecher and Goldstein, 2010). “En la actualidad, cerca del 74% de la producción anual de biosólidos es utilizada beneficiosamente en la agricultura, bosques, recuperación de suelos o son almacenados para dichos propósitos (NEBRA, 2007). Según USEPA - 1999, el uso beneficioso de biosólidos puede aumentar debido a los beneficios de su reciclaje, costo competitivo, y con la educación producirá una percepción positiva en el público” (USEPA, 1999). Estos biosólidos pueden ser usados en viveros, jardines, productores de mezclas de suelo, parques, producción de hortalizas, frutas y plantas ornamentales.

Para el año 1992, en Estados Unidos la aplicación de biosólidos a cultivos agrícolas era del 33%, y para el año 1998 se había duplicado (USA EPA, 1999). “En México se utilizan lodos o biosólidos a tierras de cultivos no restringidos, como maíz, frijol, haba y coliflor entre otros, manifestando varios beneficios a los cultivos, así como a los suelos” (Martínez *et al.*, 2001). A pesar de ello, “se necesita minimizar el alto contenido microbiológico antes de aplicar los lodos en la actividad agrícola para reducir los riesgos a la salud humana y el ambiente.” Basta mencionar que los lodos primarios fisicoquímicos de México contienen aproximadamente 3 y 6 órdenes de magnitud más coliformes fecales y *Salmonella* spp que los lodos primarios de otros

países. “Así mismo, el contenido de huevos de helmintos (promedio en huevos/g de masa seca) es de 59 en lodos primarios fisicoquímicos provenientes del agua residual de la Ciudad de México, mientras que en lodos de las plantas de tratamiento en Estados Unidos este valor es menor que 1.0” (Jiménez *et al.*, 2000). Estos valores preocupantes han llevado al desarrollo de varios proyectos de investigación que se orienten a la reducción adecuada de los microorganismos en los lodos, ya sea por procesos convencionales o no convencionales, sobre todo si es en la aplicación de biosólidos a cultivos de consumo humano.

En una entrevista realizada a Martha Prothro (2013), la cual fue la Administradora asistente de la Oficina de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, manifestó que: *“En realidad, en todos los años en que los biosólidos correctamente tratados han sido aplicados al terreno, no hemos podido encontrar ningún caso documentado de enfermedad”*.

## **IV. MATERIALES Y METODOS.**

En este estudio se evaluó la calidad del biosólido proveniente de la laguna de campo amor, como sustrato y mejorador del suelo para combatir la actividad de deforestación de especies forestales y arbustivas, propias de la zona de evaluación; se realizaron dos tipos de muestreo, el muestreo de recolección de medidas dasométricas para la evaluación del crecimiento de las especies forestales y arbustivas en 3 meses y el análisis en laboratorio de los parámetros biológicos, físico-químicos y metales pesados del suelo.

### **4.1. LUGAR Y PERIODO DE EJECUCIÓN.**

Zarumilla es una de las tres provincias que conforman el departamento de Tumbes, bajo la administración del Gobierno regional de Tumbes, en el norte de Perú. Limita al norte con el Océano Pacífico, al este y al sur con Ecuador, y al oeste con la Provincia de Tumbes; el proyecto se desarrolló en la zona denominada Conchal Rosillo en el caserío de Cuchareta baja, distrito de Aguas Verdes. (Ver mapa de ubicación)

De acuerdo al censo 2007, la población del Distrito de Zarumilla es de 18,463 habitantes que representa un 44.97% en tanto el Distrito de Aguas Verdes tiene una población de 16,058 que representa un 39.11% de la población provincial. (Ver Cuadro 1)

**Cuadro 1. Población y tasas de crecimiento intercensal.**

Ámbito geográfico	Población intercensal			Tasa de crecimiento	
	Pob 1981	Pob 1993	Pob 2007	1981-1993	1993-2007
Zarumilla	9,086	13,403	18,463	3.3	2.3
Aguas verdes	---	7,977	16,058	----	5.1
<b>Total</b>	<b>9,086</b>	<b>21,380</b>	<b>34,527</b>	<b>7.4</b>	<b>3.5</b>

La evaluación del proyecto tuvo una duración de 4 meses una vez identificado la zona deforestada, se procedió a la aplicación del biosólido, esta evaluación se dio en un periodo de estación lluviosa entre los meses de finales de enero hasta principios de junio.

#### **4.2. TIPO DE ESTUDIO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.**

El tipo de estudio de acuerdo a los fines que persigue fue experimental, ya consistió en la aplicación in situ del biosólido al suelo directamente y se evaluó su calidad en un área deforestada; de acuerdo al enfoque de investigación se describió los procesos y resultados que se obtiene de la aplicación del biosólido en el suelo y su rendimiento en este.



**Figura 1:** P3 – parcela con aplicación del biosólido.



**Figura 2:** P5 – parcela sin aplicación del biosólido.

En cuanto al diseño de investigación en este estudio se realizó análisis en laboratorio para los parámetros microbiológicos, algunos parámetros físico-químicos y concentración de metales pesado en lo que respecta a la composición del suelo con ambos tratamientos; esto para comparar la eficacia del sustrato en el suelo deforestado. También se realizó un análisis del crecimiento de las especies mediante la toma de medidas dasométricas a las diferentes especies forestales y arbóreas muestreadas en cada parcela muestral (P) para comparar la influencia del biosólido en el crecimiento y regeneración de las plantas afectadas por esta actividad.

### **4.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO.**

#### **4.3.1. Población.**

La población la conforman las especies forestales y arbóreas en las parcelas de muestreo (P), las cuales suman un total de 124 especies evaluadas en 6 parcelas muestrales.

**Cuadro 2: Especies arbóreas y arbustivas halladas en las Parcelas.**

<b>Nombre común</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Tipo</b>
<b>Algarrobo</b>	<i>Prosopis pallida</i>	Arbóreo
<b>Papelillo</b>	<i>Bougainvillea peruviana</i>	Arbustivo
<b>Seda seda</b>	<i>Calliandra tumbeziana</i>	Arbustivo
<b>Quiriquinchi</b>	<i>Pithecellobium excelsum</i>	Arbustivo
<b>Añalque</b>	<i>Coccoloba ruiziana</i> <i>Lindau</i>	Arbustivo
<b>Overo</b>	<i>Cordia lutea</i>	Arbustivo
<b>Negrilo</b>	<i>Achatocarpus pubescens</i>	Arbustivo
<b>Charán blanco</b>	<i>Chloroleucon mangense</i>	Arbóreo

**4.3.2. Muestra.**

La muestra estaba compuesta por seis (06) parcelas de muestreo (P1, P2, P3, P4, P5, P6), con áreas de entre 19m<sup>2</sup> hasta 27 m<sup>2</sup> dependiendo del terreno (ver mapa de parcelas de muestreo) cada una; que ascienden a una superficie total de 196.5 m<sup>2</sup> (0.019 ha); tres de estas parcelas sin aplicación del biosólido que conforman el tratamiento T<sub>0</sub> y la otras tres con aplicación del biosólido que conforman el segundo tratamiento T<sub>1</sub> (ver mapa de ubicación de parcelas).

**Cuadro 3: Áreas correspondientes según parcelas y tipo de tratamiento.**

<b>Tratamiento</b>	<b>Parcela</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Número de especies</b>
<b>T<sub>1</sub></b>	P1	31	7
	P2	31	15
	P3	34.5	26
<b>T<sub>0</sub></b>	P4	28	19
	P5	24	27
	P6	48	30

### 4.3.3. Muestreo.

El muestreo de especies y calidad del suelo, se realizó diferenciado en dos componentes; ambos dentro de cada parcela: el primero fue la evaluación de las especies y su evolución en el tiempo en cuanto su a desarrollo silvícola; y el segundo componente la determinación de metales pesados encontrados en el suelo según el tipo de tratamiento y los parámetros biológicos, físico-químicos en cada parcela. También se determinó el análisis biológico y metales pesados para el lodo y el biosólido.

- Para el muestreo de parámetros que se realizó en la laguna de campo amor se escogieron 5 puntos de recolección de lodo, para posteriormente homogenizarlos y ser llevados al laboratorio para su respectivo análisis.
- Para el muestreo de biosólido, se escogieron 5 puntos de recolección de lodo, para posteriormente homogenizarlos y aplicarle CAL para su estabilización y ser llevados al laboratorio para su respectivo análisis.
- Para el muestreo de suelos dentro de cada parcela se excavo 5 calicatas, donde se tomó cierta porción de suelo de cada una de ellas para luego ser homogenizadas, envasadas y dispuestas a laboratorio.
- Para el muestreo del crecimiento de las especies se identificó las especies en cada parcela y se midió la altura total de cada árbol y arbusto dentro de la parcela por un periodo de 3 meses en intervalos de 15 días como monitoreo del crecimiento silvícola.

#### 4.3.4. Métodos y técnicas de recolección de datos

- **Muestreo para evaluación del crecimiento de especies forestales y arbóreas:**

El sistema de alcantarillado de Zarumilla está conformado por un subsistema de redes colectoras que conducen indistintamente las aguas servidas producidas en el área urbana hacia Lagunas de Oxidación, en el A. H. "Campoamor, que tiene una única cámara de bombeo denominada Campoamor. Fue construida en 1986 y tiene dos electrobombas de 20 HP, con una capacidad de bombeo de 30 L/s." Esta estación dispone de un generador, es la mayor del sistema y descarga en la Laguna de la localidad de 70 x 140 m y talud 1:3. "En la laguna de oxidación tiene un tratamiento inferior de tipo anaeróbico y uno superior, de tipo aeróbico. El tiempo de retención es mayor a 10 días. Los malos olores se producen al ingreso y salida. Se derivan las aguas a un drenaje agrícola, que ha sido bloqueado por los agricultores y los que hacen adobes."

Para el traslado del lodo crudo se utilizó maquinaria pesada, la cual consistió de una retroexcavadora excavadora 420f Caterpillar y un camión volquete de 15 m<sup>3</sup> volvo, en el cual se cargó 4 m<sup>3</sup> de lodo crudo, destinados al área donde se desarrolló el proyecto (Conchal Rosillo – caserío de Cuchareta baja).



**Figura 3:** Extracción de lodo crudo de uno de los puntos de muestreo de la laguna de Campo Amor.



**Figura 4:** Depósito de lodo crudo en la zona de intervención del proyecto.

Posteriormente para la conversión del lodo a biosólido se aplicó CAL para la estabilización de agentes patógenos que poseía el lodo de purificación y posteriormente se esparció en las parcelas P1, P2 y P3:



**Figura 5:** Aplicación de CAL al lodo crudo para su estabilización.



**Figura 6:** Esparcimiento del biosólido en las parcelas del tratamiento T<sub>1</sub>.

Para el cálculo del volumen del biosólido aplicado por parcela este se dispuso según su área de las parcelas P1, P2 y P3, en el cual se utilizó un total de 2 m<sup>3</sup> en total para las tres parcelas que conformar el tratamiento T<sub>1</sub>; para lo cual se consideró cuatro baldes por metro cuadrado, dando como resultado los siguientes cálculos de volumen:

$$\text{Volumen del balde} = 7037.18 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volumen por metro cuadrado} = 7037.18 \times 4 = 28148.72 \text{ cm}^3 (0.028 \text{ m}^3)$$

$$\text{P1: } 24.14 \text{ m}^2 \times 0.028 \text{ m}^3 = 0.68 \text{ m}^3$$

$$\text{P2: } 22.75 \text{ m}^2 \times 0.028 \text{ m}^3 = 0.64 \text{ m}^3$$

$$\text{P3: } 24.44 \text{ m}^2 \times 0.028 \text{ m}^3 = 0.68 \text{ m}^3$$

Se registro las medidas dasométricas en un formato de campo conteniendo la Altura total (HT), con una wincha de 5 metros; estas evaluaciones se realizaron con una periodicidad de 15 días por 4 meses para cada parcela; también se registraron las coordenadas en datum WGS84 con un GPSMAP 64S marca GARMIN de 3 metros de precisión, a cada una de las especies distribuidas en cada parcela para la elaboración de los mapas (ver anexos mapas cartográficos).



**Figura 7:** Medición de la altura total (HT) a especie forestal con biosólido en la segunda quincena de evaluación.



**Figura 8:** Toma de coordenadas de cada especie para su evaluación individual y por tipo de especie.

- **Muestreo para análisis en laboratorio y determinación de parámetros de higienización, físico-químicos y concentración de metales pesados.**

Para el desarrollo del proyecto se realizó diferentes métodos, acompañados de diversos equipos de muestreo in situ y en laboratorio para determinar los parámetros de evaluación a cada parcela.

Para la evaluación de los parámetros biológicos, físico-químicos y metales pesados se realizó los análisis en laboratorio con distintas metodologías para el cálculo de cada uno de ellos, y siguiendo diferentes guías en procedimiento en laboratorio y protocolos de muestreos de suelo, lodos y biosólidos.

**a. Toma de muestra de lodos y biosólidos:**

Para el análisis realizado al lodo y al biosólido se realizó siguiendo el protocolo de monitoreo de biosólidos, aprobado mediante Resolución Ministerial N°093-2018-VIVIENDA; donde especifica la recolección de muestras en lagunas de estabilización o PTAR (planta de tratamiento de aguas residuales) mediante la toma de muestra compuesta, los materiales utilizados fueron una vara de 2 metros de altura, un cooler, 5 recipientes de polietileno con tapa.



**Figura 9:** Toma de muestras de lodo crudo para análisis en laboratorio.



**Figura 10:** Aplicación de CAL para la estabilización del lodo crudo y así obtener biosólido para ser llevadas a laboratorio.



**Figura 11:** Contenedores para Etiquetado y envasado de la muestra para ser llevados a laboratorio.

## **b. Toma de muestras para suelos:**

Las muestras de suelos fueron tomadas teniendo en cuenta la guía para muestreo de suelos en el marco del D.S. N° 002-2013-MINAM; para esto se realizó dos tipos de recolección, una para la determinación de parámetros de higienización y la otra para parámetros físico-químicos y metales pesados.

### ***b.1. Parámetros de higienización:***

Se recolecto la muestra en 5 calicatas a una profundidad de 20 cm hechas dentro de cada parcela con ayuda de una pala y un pico, y se dispuso en recipientes de vidrio con tapa a un cooler refrigerado a 4 C°, para ser dispuestos a laboratorio.



**Figura 12** A recolección, Etiquetado y envasado de la muestra 12-B - Contenedor para el transporte de la muestra para ser llevados a laboratorio

### ***b.2. Parámetros físico-químicos y metales pesados:***

Se recolecto la muestra en 5 calicatas hechas dentro de cada parcela con ayuda de una pala y un pico, y se dispuso en bolsas ziplox de capacidad de  $\frac{1}{2}$  kg cada una; también se realizó las mediciones de algunos parámetros físicos in situ como son la temperatura que se midió a diferentes profundidades (la primera a nivel del suelo y la segunda 15 cm de profundidad) y la humedad relativa (15 cm de profundidad), con ayuda de equipos especializados como el Termómetro digital de marca HANNA y Higrómetro de marca VWR.



**Figura 13:** Medición de temperatura del suelo a nivel de superficie.



**Figura 14:** Medición de humedad relativa del suelo a profundidad de 15 cm.



**Figura 15:** Toma de muestra de suelo en una calicata a 15 cm de profundidad.

#### **4.4. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS**

Luego de realizadas las mediciones de la variable silvícola de altura total se generó una base de datos, ingresando las distintas alturas de las especies en una hoja de cálculo del programa Excel de Microsoft Office. “Por medio de las fórmulas correspondientes, fueron generadas las variables indirectas. Posteriormente, los datos fueron exportados a una hoja electrónica del programa INFOSTAT para realizar el análisis estadístico.”

##### **4.4.1. Análisis estadístico**

En el análisis estadístico se utilizó el programa estadístico INFOSTAT versión 2018-I, en el cual se elaboraron los análisis de varianzas y así mismo

las pruebas de medias utilizando el criterio de Tukey para los 2 tratamientos. Este análisis se hizo para la variable de crecimiento de altura total (HT) por parcelas y especies.

Las variables dependientes para la evaluación de crecimiento son:

<u>Variable dependiente</u>	<u>Dimensión</u>
Parcela	metros
Especies	metros

Para este componente el cuadro que se diseñó para la recolección de información, contiene las medidas dasométricas de las especies en intervalos de 15 días por 4 meses, esto para evaluar el promedio de crecimiento por especie y aplicar el modelo estadístico y el promedio de crecimiento por especie según tipo de tratamiento.

#### **4.4.2. Comparación de los tratamientos con la normativa nacional e internacional para su uso.**

En este segundo componente se analizó los parámetros requeridos según la normativa nacional peruana D.S. 015-2017-VIVIENDA; y a su vez se comparó también con las normativas internacionales NTON 11 044 - 14 (Nicaragua), CETESB P 4.230 (Brasil), Decreto Número 1287 – 2014 (Colombia), NOM-004-SEMARNAT-2012 (México); para este uso todas las normas categorizan al biosólido en clase B a excepción de la norma mexicana que lo categoriza en uso de Clase C (para uso forestal) .

**Cuadro 4: Parámetros de higienización para biosólido de clase B.**

<b>Parámetros de higienización de biosólidos</b>		
<b>Indicador</b>	<b>Clase A</b>	<b>Clase B</b>
<b>Indicadores de contaminación fecal</b>	Escherichia coli < 1000 NMP/ 1g ST	El nivel de higienización se puede demostrar con el cumplimiento de los procesos previstos en el Anexo I, en su defecto, mediante alguna de las
	o Salmonella sp. < 1 NMP / 10g ST	
<b>Indicador de huevos de helmintos</b>	Huevos viables de Helmintos < 1 /4g ST	Tecnologías indicadas para la higienización, en la Sección B del Anexo N° II de D.S 015-2017 VIVIENDA.
	o Prueba de utilización de tecnologías indicadas para la higienización	

**Cuadro 5: Parámetros de metales pesados para biosólidos.**

<b>Parámetros de toxicidad química en biosólidos de Clase A y de Clase B</b>								
<b>Mg/kg ST Materia Seca</b>	<b>Cadmio</b>	<b>Arsénico</b>	<b>Cromo</b>	<b>Cobre</b>	<b>Plomo</b>	<b>Mercurio</b>	<b>Níquel</b>	<b>Zinc</b>
<b>Clase A y clase B</b>	40	40	1200	1500	400	17	400	2400

Para el análisis de parámetros físico-químicos se consideraron los parámetros necesarios para evaluar la relación suelo-planta, la composición mineral del suelo y los factores ambientales del suelo; se desarrollaron diferentes metodologías para cada parámetro; como está especificado en el *“Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego”* del Ing. M.Sc. Rubén Bazán Tapia del 2017; los parámetros desarrollados fueron:

**Cuadro 6: Parámetros de físico-químicos considerados en el análisis de la relación suelo-planta.**

<b>Parámetro</b>	<b>Método</b>
• <b>Determinación del pH de los suelos</b>	Potenciométrico
• <b>Determinación del contenido de humedad</b>	Estimación de pérdida de peso (%)
• <b>Temperatura</b>	Medición directa con termómetro
• <b>Potencial REDOX (Eh)</b>	Medición directa por el potenciómetro
• <b>Determinación de la conductividad eléctrica</b>	Conductímetro
• <b>Determinación de humedad relativa</b>	Medición directa
• <b>Determinación del fosforo en el suelo</b>	Método del bicarbonato de sodio (Murphy and Riley, 1962; Watanabe and Olsen, 1965; Olsen and sommers,1982)
• <b>Determinación de calcio en el suelo</b>	Determinación del calcio por gravimetría
• <b>Determinación de potasio en el suelo</b>	Método de Morgan modificado
• <b>Determinación de carbono orgánico (materia orgánica)</b>	Oxidación de la materia orgánica por calcinación (%)

Para aplicar la comparación de los parámetros biológicos y metales pesados suscritos en la normativa nacional e internacional para los límites máximos permisibles para uso en suelos deforestados se elaboró el siguiente cuadro comparativo:

**Cuadro 7: Parámetros de higienización según normativa nacional e internacional para uso de biosólidos de clase B y C.**

Parámetro	Normativa nacional		Normativa internacional		
	D.S. 015-2017-VIVIENDA	NTON 11 044 - 14	CETESB P 4.230	Decreto Número 1287 – 2014	NOM-004-SEMARNAT-2012
<i>Escherichia coli</i>	<1000 NMP/1g ST	<1000 NPM/gr.	No especifica	No especifica	<2000000 NMP/gr
<i>Salmonella sp.</i>	<1 NMP/10g ST	<3 UFC/25 gr.	< 3 NMP/4gST	<1 E (+3)	<300 NMP/gr
<i>Huevos viables de Helmintos</i>	<1/4g ST	<10 u/30 gr.	<1 NMP/1g ST	<10/4 gr ST	<35 gr ST

**Cuadro 8: Parámetros de metales pesados según normativa nacional e internacional para biosólidos en uso forestal.**

Parámetro	Unidad	Normativa nacional		Normativa internacional		
		D.S. 015-2017-VIVIENDA	NTON 11 044 - 14	CETESB P 4.230	Decreto Número 1287 – 2014	NOM-004-SEMARNAT-2012
<b>Cadmio</b>	mg/kg	2	85	85	40	75
<b>Arsénico</b>	mg/kg	2	75	75	40	85
<b>Cromo</b>	mg/kg	75	3000	No especifica	1500	3000
<b>Cobre</b>	mg/kg	100	4300	4300	1750	4300
<b>Plomo</b>	mg/kg	20	840	840	400	840
<b>Mercurio</b>	mg/kg	1	57	57	20	57
<b>Níquel</b>	mg/kg	20	420	420	420	420
<b>Zinc</b>	mg/kg	150	7500	7500	2800	7500

#### 4.4.3. Evaluación de la calidad del biosólido.

Para la evaluación de la calidad del biosólido se tomó ciertos criterios específicos para combatir la deforestación:

- Que el biosólido se encuentre en la categoría de clase B (para uso forestal).
- Elevar la capacidad de retención de agua en el suelo.
- Estabilización del pH de entre 5,5 a 6,5.
- Aportes de micronutrientes a las plantas.
- Que induzca el mayor número de individuos de regeneración natural.
- Que aporte al crecimiento de mayor altura de las especies.

**Cuadro 9: Criterios para la categorización de biosólidos para la actividad de deforestación.**

<b>Categoría</b>	<b>Variable</b>	<b>Rango</b>
<b>Optimo</b>	Clasificación	Clase B
	Humedad	> al 5%
	pH	5,5 a 6,5
	Micronutrientes	> al 50%
	Regeneración natural	> 5 individuos
	Altura de las especies	Doble de su altura inicial
<b>Bueno</b>	Clasificación	Clase B
	Humedad	Entre el 2 al 4 %
	pH	6,5 al 7,5
	Micronutrientes	Entre el 25 % al 50%
	Regeneración natural	1 ≤ 5 individuos
	Altura de las especies	mitad de su altura inicial
<b>Malo</b>	Clasificación	Clase B
	Humedad	< 2%
	pH	> 7,5
	Micronutrientes	< 24%
	Regeneración natural	0 individuos
	Altura de las especies	Cuarta parte de su altura inicial

## V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 5.1. RESULTADOS

#### 5.1.1. Variable De Crecimiento

##### Análisis de altura total –HT:

En el cuadro 9 se presentan los promedios de las alturas totales de las especies evaluadas en las 6 parcelas y su crecimiento en un periodo de 6 evaluaciones durante 4 meses.

**Cuadro 10: Promedio de alturas en metros para las parcelas evaluadas.**

	Promedio de alturas por fecha de evaluación						Diferencia de HT inicial y HT final	Promedio de crecimiento
	22/2/19	5/3/19	24/3/19	16/4/19	18/5/19	2/6/19		
<b>P1</b>	4.41	4.53	6.66	7.71	7.56	8.09	<b>3.68</b>	<b>0.74</b>
<b>P2</b>	10.99	11.71	19	19.72	21.24	21.54	<b>10.55</b>	<b>2.11</b>
<b>P3</b>	17.97	19.13	25.27	31.82	33.91	32.66	<b>14.69</b>	<b>2.94</b>
<b>P4</b>	9.35	14.36	16.61	17.17	14.71	19.4	<b>10.05</b>	<b>2.01</b>
<b>P5</b>	13.77	15.41	16.73	23.56	26.84	26.07	<b>12.3</b>	<b>2.46</b>
<b>P6</b>	10.22	18.03	24.78	24.19	24.04	27.8	<b>17.58</b>	<b>3.52</b>

En la evaluación de las alturas de las especies se denoto una diferencia de crecimiento entre la altura inicial y la final dando como resultados

que la P6 y la P3, son las especies que crecieron más que las otras parcelas, puesto que están contienen más ejemplares de la especie *Chloroleucon mangense* “Charán” y esta especie se desarrolla más acelerada que las otras especies.

**Cuadro 11: Análisis de varianza y prueba de medias de Tukey para la variable de crecimiento de HT por parcela.**

Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Alturas	36	0.64	0.58	28.80

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1413.94	5	282.79	10.55	<0.0001
Parcelas	1413.94	5	282.79	10.55	<0.0001
Error	803.91	30	26.80		
<b>Total</b>	<b>2217.85</b>	<b>35</b>			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=9.09039

Error: 26.7968 gl: 30

Parcelas	Medias	n	E.E		
P1	6.49	6	2.11	A	
P4	15.27	6	2.11	A	B
P2	17.37	6	2.11		B
P5	20.40	6	2.11		B
P6	21.51	6	2.11		B
P3	26.79	6	2.11		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

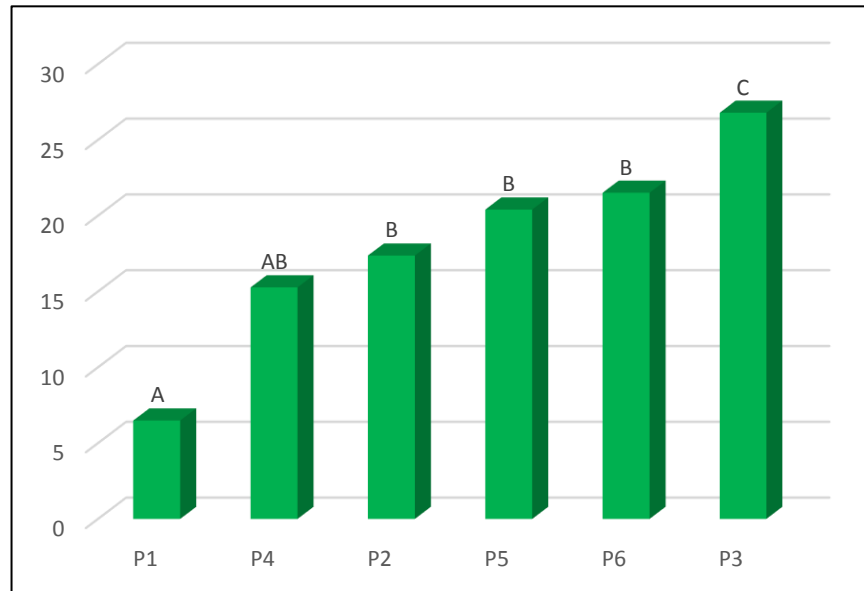


Gráfico 1: Clasificación Tukey para las medias de las parcelas evaluadas

Cabe indicar que no todas las especies se repiten en los dos tratamientos solo se consideró las especies que se repiten en ambos tratamientos; para el análisis de la varianza entre los dos tratamientos aplicados a las especies se realizó su análisis estadístico; resultado del análisis, la varianza dio como resultado que si existe diferencia significativa en el crecimiento de las especies según tratamiento, con un coeficiente de variación del 28.80%, quiere decir que las especies se desarrollan mejor con la aplicación del biosólido que sin la aplicando del biosólido para la variable de altura de las especies evaluadas, dando como resultado que la mayor media la presenta la P3 con 26.79 metros.

En la Cuadro 12 se distinguen los promedios de crecimiento de las especies por tipo de tratamiento, donde se representa el crecimiento de las especies por parcelas determinado de la diferencia de la altura inicial

con la altura final realizada en la evaluación; que a su vez da el promedio de crecimiento por especie según tipo de tratamiento.

**Cuadro 12: Promedio de crecimiento en metros por especie según tipo de tratamiento**

Tratamiento	Especie	P1	P2	P3	Promedio
T <sub>1</sub>	<i>Prosopis pallida</i>	0.80	2	1.80	1.53
	<i>Coccoloba ruiziana Lindau</i>	0.03	0.40	0.64	0.36
	<i>Chloroleucon mangense</i>	1.15	1.97	4.96	2.69
	<i>Bougainvillea peruviana</i>	1.7			1.7
	<i>Achatocarpus pubescens</i>		3.18	1.1	2.14
	<i>Cordia lutea</i>		2.25	3.32	2.78
	<i>Pithecellobium excelsum</i>		0.72	0.66	0.69
	<i>Calliandra tumbeziana</i>			0.36	0.36
		P4	P5	P6	Promedio
T <sub>0</sub>	<i>Prosopis pallida</i>		0	1.99	1.99
	<i>Coccoloba ruiziana Lindau</i>	0.17	0.11	0.52	0.27
	<i>Chloroleucon mangense</i>	3.75	1.03	8.37	4.38
	<i>Achatocarpus pubescens</i>	0.54	0.75		0.65
	<i>Cordia lutea</i>	3.34	2.69	1.07	2.36
	<i>Calliandra tumbeziana</i>	1.84	1.75	0.37	1.32

**Cuadro 13 Análisis de varianza y prueba de medias de Tukey para la variable del promedio de crecimiento por especie.**

Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Crecimiento	12	0.82	0.60	45.32

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	13.84	6	2.31	3.73	0.0851
<b>Parcelas</b>	13.74	5	2.75	4.44	0.0637
<b>Tratamiento</b>	0.10	1	0.10	0.17	0.7006
<b>Error</b>	3.09	5	0.62		
<b>Total</b>	16.94	11			

El p-valor resultó ser mayor a 0.05, esto indica que no existe diferencia significativa entre tratamientos dados a las especies, el promedio de crecimiento se da muy similar entre las especies que se aplico biosólido con las que no poseian el biosólido:

<b>Especie</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	
<b><i>Coccoloba ruiziana</i></b>	0.32	2	0.56	A
<b><i>Lindau</i></b>	0.84	2	0.56	A
<b><i>Calliandra tumbeziiana</i></b>	1.40	2	0.56	A
<b><i>Achatocarpus pubescens</i></b>	1.76	2	0.56	A
<b><i>Prosopis pallida</i></b>	2.57	2	0.56	A
<b><i>Cordia lutea</i></b>	3.54	2	0.56	A
<b><i>Chloroleucon mangense</i></b>				

Test: Tukey Alfa= 0.05 DMS= 1.16752

Error: 0.6189

gl: 5

<b>Tratamiento</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	
<b>T<sub>1</sub></b>	1.64	6	0.32	A
<b>T<sub>0</sub></b>	1.83	6	0.32	A

En el análisis de medias los promedios de crecimiento entre las especies evaluadas poseen unas medias similares (no significativas entre sí), el error estándar es de 0.56 y la clasificación tukey es la misma para todas las especies, aunque la especie *Chloroleucon mangense* “Charan” es la que posee más alto promedio de crecimiento entre las especies evaluadas.

### 5.1.2. Análisis de la regeneración natural

Para la evaluación de la regeneración natural se evaluó según cada parcela y según el tipo de tratamiento aplicado, se identificó la especie que se regeneró de forma natural y se midió su crecimiento final, ya que el crecimiento de estas especies se dio en distintos días de forma natural, a continuación, se detalla en la Cuadro 14 las especies que germinaron de forma natural por cada parcela de evaluación y según tipo de tratamiento:

**Cuadro 14: Especies de regeneración natural y su crecimiento final.**

Tratamiento	Parcela	especie	regeneración natural	Altura final
T <sub>1</sub>	P1	<i>Cordia lutea</i>	3	0.35
		<i>Cordia lutea</i>		0.27
		<i>Bougainvillea peruviana</i>		0.20
	P2	<i>Cordia lutea</i>	1	0.17
	P3	<i>Chloroleucon mangense</i>	4	0.56
		<i>Chloroleucon mangense</i>		0.37
		<i>Chloroleucon mangense</i>		0.53
<i>Chloroleucon mangense</i>			0.57	
T <sub>0</sub>	P5	<i>Chloroleucon mangense</i>	1	0.17
	P6	<i>Chloroleucon mangense</i>	1	0.13

**Cuadro 15: Análisis de varianza, prueba de medias de Tukey para la variable de altura final para la regeneración natural (RG)**

Análisis de la varianza

<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> Aj</b>	<b>CV</b>
<b>Alturas</b>	10	0.86	0.75	26.03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	0.23	4	0.06	7.59	0.0236
<b>Parcelas</b>	0.23	4	0.06	7.59	0.0236
<b>Error</b>	0.04	5	0.01		
<b>Total</b>			0.26	9	

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.41504

Error: 0.0075 gl: 5

<b>Parcelas</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	
<b>P6</b>	0.13	1	0.09	A
<b>P2</b>	0.17	1	0.09	A
<b>P5</b>	0.17	1	0.09	A
<b>P1</b>	0.27	3	0.05	A
<b>P3</b>	0.51	4	0.04	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

Como lo indica el análisis estadístico no existe una diferencia significativa para el crecimiento en altura de las especies que se regeneraron de forma natural, este posee un coeficiente de variación del 26.03%, e indica que la parcela P3 posee la mayor media de altura

de especies que germinaron naturalmente, sin embargo se denota un mayor crecimiento de RG en el tratamiento T<sub>1</sub> y para la parcela P3, que es donde se aplicó el biosólido, por tanto se entiende que el sustrato ayuda a la regeneración natural sobre todo de la especie *Chloroleucon mangense* “charan”, ya que esta especie es forrajera y la semilla al entrar en contacto con la materia orgánica, hace posible su germinación más acelerada que en otras especies, y a su vez por la existencia diaria del ganado caprino que es el encargado de la dispersión de la semilla.

### **5.1.3. Variables del efecto del biosólidos sobre el suelo**

#### **5.1.4. Resultados del análisis del lodo y biosólido.**

Con la finalidad de evaluar los lodos y el biosólidos que se extrajeron de la laguna campo amor, para posteriormente ser aplicados como sustrato para desarrolló el estudio; se presentan los resultados de los parámetros microbiológicos y concentración de metales pesados para que sean categorizados según la norma en clasificación tipo A o tipo B.

A continuación, se muestran los resultados de los datos obtenidos de las muestras tomadas para lodos (M01) y biosólidos (M02); ambas muestras compuestas, de cinco muestras puntuales de la laguna de estabilización tomadas a una profundidad de 1 metro aproximadamente:

**Cuadro 16: Propiedades físico-químicas de las muestras M01 y M02 de la laguna Campo Amor**

<b>Ensayos microbiológicos y parasitológicos</b>	<b>Resultados</b>	
	<b>M01</b>	<b>M02</b>
Escherechia coli (NMP/g)	2x10 <sup>4</sup>	5x10 <sup>2</sup>
Huevos de helmintos (N° huevos/1000g)	35	12

<b>Ensayos metales pesados</b>	<b>Resultados</b>	
	<b>M01</b>	<b>M02</b>
Arsénico (mg/kg)	<10	<10
Cadmio (mg/kg)	<10	<10
Cromo (mg/kg)	18.20	10.32
Cobre (mg/kg)	84.20	65.20
Plomo (mg/kg)	<10	<10
Mercurio (mg/kg)	<10	<10
Niquel (mg/kg)	52.89	45.87
Zinc (mg/kg)	321.10	298.20

**Cuadro 17: Comparación del biosólido de la laguna de campo amor con la legislación nacional e internacional.**

Criterio	Variable	Biosólido	D.S. 015- 2017- VIVIENDA	Decreto numero 1287 (2014)	NOM-004- SEMARNAT- 2012	NTON 11 044 – 14 (2013)	CETESB P 4.230
			Clase B	Categoría B	Buenos	Biosólido	Clase B
<b>Micro Biológicos</b>	Escherechia coli (NMP/g)	5x10 <sup>2</sup>	<1000	< 2,00 E (+6)	Menor de 3	<1000	2x10 <sup>6</sup>
	Huevos de helmintos (N° huevos/1000g)	12	<1/4g ST	<10	Menor de 10	<10 u/30 gr.	<1 NMP/1g ST
<b>Metales Pesados (concentraciones maximas)</b>	Arsénico (mg/kg)	<10	2	40	75	85	75
	Cadmio (mg/kg)	<10	2	40	85	75	85
	Cromo (mg/kg)	10.32	75	1 500	3 000	3000	No especifica
	Cobre (mg/kg)	65.20	100	1 750	4 300	4300	4300
	Plomo (mg/kg)	<10	20	400	840	840	840
	Mercurio (mg/kg)	<10	1	20	57	57	57
	Niquel (mg/kg)	45.87	20	420	420	420	420
Zinc (mg/kg)	298.20	150	2 800	7 500	7500	7500	

En los resultados de los ensayos químicos, microbiológicos y agentes patógenos, estos no exceden los parámetros de toxicidad; por lo tanto, estos si pueden ser considerados como biosólidos clasificados en la categoría B y C (uso forestal).

#### 5.1.5. Resultados del análisis del suelo

Con la finalidad de evaluar los suelos donde se desarrolló el estudio se presentan los resultados de los parámetros microbiológicos, físico-químicos y metales pesados en las parcelas de muestreo, para analizar el efecto del sustrato para el tratamiento T<sub>1</sub> y analizar el desarrollo sin el sustrato para el tratamiento T<sub>0</sub>.

A continuación, se muestran los resultados de los datos obtenidos en una muestra tomada a una profundidad de 0-20 cm, para los parámetros físico-químicos:

**Cuadro 18: Propiedades físico-químicas de los suelos de las seis parcelas de muestreo.**

Variable	Tratamiento con biosólido			Tratamiento sin biosólido			Unidad
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	
<b>pH</b>	7.64	7.04	7.42	7.90	7.20	7.12	<b>Reacción</b>
<b>Humedad</b>	2.74	4.64	5.03	6.78	4.61	2.55	<b>% humedad</b>
<b>Temperatura</b>	31.6	29.9	30.7	30.2	31.8	32.8	<b>Grados centígrados</b>
<b>Potencial redox</b>	27.3	27.5	27.7	20.4	19.7	26.3	<b>mv</b>
<b>Conductividad eléctrica</b>	233	138.6	291	130.2	222	350	<b>u S/m</b>

<b>Humedad relativa</b>	38	27	37	37	37	57	<b>% humedad</b>
<b>Potasio</b>	370	380	410	480	400	390	<b>mg/kg</b>
<b>Fosforo</b>	28	30	36	32	30	28	<b>mg/kg</b>
<b>Calcio</b>	1100	920	980	1250	2200	2010	<b>mg/kg</b>
<b>Materia orgánica</b>	3.90	17.96	6.61	6.83	5.28	4.95	<b>% materia orgánica</b>

Según el tipo de tratamiento utilizado, tenemos que para el tratamiento con biosólido el pH más alto corresponde a la parcela P1, considerado como pH neutral, lo cual es ideal para el crecimiento de especies de bosque seco que se desarrollan normalmente entre neutro y medianamente ácido, con el pH arriba de 5.5. El motivo por el cual el pH del tratamiento con biosólido es neutral es debido a que se da un drenaje interno, donde el suelo no se encuentra en constante contacto con el agua, por lo que las bases o álcalis como el calcio y el magnesio no reaccionan aumentando los iones hidroxilo y por ende el pH del medio edáfico se mantiene. El pH disminuye al aumentar la profundidad del suelo, provocando poca disponibilidad de elementos esenciales en los horizontes inferiores, razón por la cual en sitios erosionados la disponibilidad de elementos esenciales no es adecuada para el crecimiento óptimo de las plantas (Vaides López, 2004); por otro lado para el segundo tratamiento sin aplicación del biosólido el pH más alto lo registra la parcela P4 con 7.9, el cual tuvo el desarrollo más lento de las especies y no se dio la regeneración natural de ninguna especie, esto porque su pH bordea ya a alcalino el cual disminuye el crecimiento de las especies por que limita el drenaje interno.

En cuanto a la influencia del biosólido en el suelo, este no aporta diferencias significativas en cuanto a la modificación de los parámetros físico químicos (pH, Humedad, temperatura), pero si eleva un poco y estabiliza el potencial

redox el cual origina las reacciones de energía dada por la transferencia de electrones. Oxígeno (O), carbono (C), nitrógeno (N), azufre (S), hierro (Fe) y manganeso (Mn) son los elementos involucrados en la capacidad redox y determinan en gran parte la génesis de suelos sulfatados ácidos (Hinrich, 2002; Hicks *et al.*, 2002); la materia orgánica también se ve incrementada en las parcelas que tienen adición del biosólido sobre todo en las parcelas P2 y P3.

Para la concentración de calcio se determinó que todas las parcelas al tener casi las mismas condiciones de humedad y el pH, origina que las concentraciones de calcio sean casi iguales debido a su movilidad, teniendo la concentración más alta de calcio para la parcela P4, que por lo general los suelos con un pH más alto contienen más calcio disponible; en cuanto al fósforo (P) la mayor concentración la obtuvo la parcela P3, donde se observó el mejor crecimiento y regeneración.

A continuación, se muestran los resultados de los datos obtenidos en una muestra tomada a una profundidad de 0-20 centímetros para los parámetros de higienización:

**Cuadro 19: Agentes patógenos de los suelos de las seis parcelas de muestreo.**

Variable	Tratamiento con biosólido			Tratamiento sin biosólido			Unidad
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	
<b>Escherichia coli</b>	<3	<3	<3	<3	<3	<3	NMP/g
<b>Salmonella</b>	0	0	0	0	0	0	Salmonella/10g
<b>Huevos de helmintos</b>	5	3	2	5	4	1	Nº huevos/1000g

En los parámetros de higienización dio como resultado que para las parcelas P1 y P4 poseen la mayor cantidad de huevos de helmintos, para salmonella no existe en ninguna de las parcelas muestreadas y el parámetro de Escherichia coli, todos son inferiores a 3 NMP/g, el cual tiene un indicador de patogenicidad muy bajo con el cual no existe un contagio a las especies en la cadena productiva de estas.

A continuación, se muestran los resultados de los datos obtenidos en una muestra tomada a una profundidad de 0-20 centímetros para los parámetros Metales pesados, cabe decir que estas muestras se homogenizaron según los tratamientos ya que la diferencia entre las distancias entre las parcelas, y las condiciones del suelo son similares. (Ver Cuadro 20)

**Cuadro 20: Metales pesados de los suelos de las seis parcelas de muestreo**

Muestras	Resultados						
	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Pb mg/kg	Hg mg/kg	Ni mg/kg	Zn mg/kg
<b>Tratamiento T<sub>1</sub> (P1 : P3)</b>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	3.20	12.10
<b>Tratamiento T<sub>0</sub> (P4 : P6)</b>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	1.75	9.80

En los resultados de la Cuadro 20 se puede apreciar que los metales pesados se encuentran en mínimas cantidades para la mayoría de elementos, a excepción del Ni y Zn en el cual se presentan más bajos en el tratamiento sin biosólidos y en el tratamiento con biosólidos sufre un incremento de estos elementos los cuales ayudan al crecimiento de

las plantas gracias a su participación en los procesos químicos de la relación suelo planta.

Los resultados son consistentes con los obtenidos por Carnus y Thomas Chery (2007), que mostró que los biosólidos no tuvieron efecto en las parcelas puesto que los niveles en la solución del suelo no aumentaron la concentración en la mayoría de los metales más que en el Ni y Zn el cual son oligoelementos esenciales el cual ayudan al crecimiento en altura a las plantas (M. Barrios S. y S. Longa M).

#### **5.1.6. Evaluación de la calidad del biosólido para uso forestal.**

<b>Clasificación</b>	: Clase B
<b>Aportes de micronutrientes:</b>	Niquel (82.85%) Zinc (26.43%)
<b>Regeneración natural</b>	: 4
<b>pH</b>	: 7.36 (promedio)
<b>Humedad</b>	: 4.13% (promedio)
<b>Altura de las especies</b>	: en el promedio de alturas de la evaluación la mayoría de las especies han crecido más del 60% de su alturainicial.

El biosólido se clasifica en **BUENO** para la actividad de restauración de áreas con especies de bosque seco ecuatorial afectadas por la actividad de deforestación, puesto que cumplen según los criterios dados en el Cuadro N°08: criterios para la categorización de biosólidos para la actividad de deforestación.

## 5.2. DISCUSIÓN.

La ventaja de aplicar biosólidos a plantaciones forestales es que los principales productos no son destinados al consumo humano o animal, permitiendo una mayor seguridad en la dispersión de Contaminantes, siempre que se tomen precauciones previas. En relación a la ubicación de las parcelas y la forma y aplicación de lodos, que en principio podría llevarse a cabo en intervalos de 5 a 7 años (POGGIANI *et al.*, 2000; GONÇALVES *et al.*, 2000).

En este estudio se realizó la aplicación del biosólido estabilizado con CAL; un beneficio adicional del uso de la CAL es que causa la precipitación de los metales pesados y fosforo (Méndez *et al.* 2002). Por otro lado, el pH de las parcelas muestreadas se encuentra en estado neutro, lo cual influye en la movilidad de los metales sobre todo del zinc, ya que este metal activa su movilidad en suelos ácidos (Méndez *et al.* 2002).

Uno de los resultados de este estudio, es que hubo un aumento del potencial redox en las parcelas que contenían el biosólido; se afirma que el biosólido es un estabilizador de suelo por sus características de regulación del pH mediante el incremento del potencial redox, aumenta en cierto grado el contenido de materia orgánica, distribuye uniformemente los metales pesados sin una aparente absorción de estos a las plantas afirmado por Stefanakis y Tsihrintzis, 2012.

Varios autores (TSUTIYA, 2000 y 2001; MELFI y MONTES, 2001, MELO, 2000; TRIGUEIRO, 2002), afirma que, además de los beneficios potenciales de los biosólidos en fertilidad y mejora de las condiciones físicas y biológicas del suelo, es importante destacar otras ventajas, los nutrientes contenidos en los biosólidos se liberan y absorben lentamente; su efecto es más duradero, lo que es deseable para cultivos perennes (POGGIANI *et al.*, 2000). La liberación de amoniacal N no aumenta la acidez del suelo debido a su Cuando se extrae el biosólido. Este

procedimiento ha sido reemplazado por polímeros que tienen un efecto moderado sobre el pH del suelo (GONÇALVES *et al.*, 2000), lo explica la estabilización del pH en las parcelas que se aplicó el biosólido.

En las parcelas con biosólido la textura del suelo era más suelta esto porque Tsutiya, 2001; afirma que la materia orgánica de los biosólidos favorece la formación de agregados en el suelo, facilitando Penetración radicular y vida microbiana; proporciona nutrientes Para plantas y organismos del suelo después de la mineralización y Actúa como acondicionador del suelo, mejorando sus características Dependiendo del proceso de tratamiento sufrido; la concentración de materia orgánica varía de 40 a 70%.

Para la variable de crecimiento en altura (HT) todas las especies tiene un promedio de crecimiento similar, pero más uniforme en el tratamiento con biosólido, esto debido a que nutrientes como el fósforo está predominantemente presente en el de forma mineral en biosólidos digeridos anaeróbicamente. Este es un factor importante para la disponibilidad de ese elemento para las plantas, que es del 50% en el primer año de aplicación del biosólidos (ANDREOLI, 1999); También hay que señalar que el fósforo contenido en los biosólidos es menos soluble que los superfosfatos, pero ofrecen Mayor constancia en el suministro a lo largo del tiempo (MELO *et al.* al., 2001; MUNHOZ, 2001). Castellanos, 2000; menciona que la fertilización con P, favorece el crecimiento de raíces laterales, atrapando más nutrientes para el desarrollo de la planta.

Según Melo *et al.* (2001), los biosólidos son pobres en potasio, porque este elemento es muy soluble en agua, lo que resulta en la baja concentración de esto en la fase sólida del tratamiento y, Consecuentemente, en la composición final del biosólido. A pesar de esto, aunque la totalidad de este nutriente existente es considerada como asimilable por las plantas. De Según el mismo autor, el contenido de potasio de los biosólidos no es suficiente para las necesidades de las plantas, y

en ese caso, se debe tener especial cuidado con el potasio para que no falten las plantas y, si es necesario, completar su dosificación con abono mineral.

Los biosólidos suelen ser ricos en calcio cuando se usa cal en la etapa de acondicionamiento o estabilización de los lodos; estos nutrientes están presentes en los biosólidos esencialmente en forma mineral y, según Andreoli *et al.* (1999), incluso en pequeñas aplicaciones pueden satisfacer las necesidades de azufre y magnesio de la mayoría de los cultivos agrícolas.

En cuanto a los metales pesados en los suelos de regiones tropicales hay muchas dudas respecto de la movilidad de metales pesados, justificada en debido a la falta de estudios a largo plazo, agravados por la tendencia de suelos predominantemente meteorizados, bajo temperatura y precipitación pluvial alta (OLIVEIRA *et al.* 2002). Según Barrios M. y Longa S. 2007; cuando el Ni y Zn fueron determinados en la planta, la mayor acumulación ocurrió en las raíces; y en los tratamientos con Zn no se observaron síntomas de toxicidad en la planta. Se obtuvieron mayores valores de altura de planta a ambas dosis de Ni y la longitud promedio de raíces fue mayor a la dosis más baja de Cr.; esto explicaría el mayor crecimiento en las parcelas con biosólidos, que poseen la concentración más alta de estos elementos.

## VI. CONCLUSIONES

1. La calidad del biosólido proveniente de la laguna Campo Amor, para uso en suelos deforestado en la zona de conchal rosillo, caserío de Cuchareta baja, distrito de Aguas Verdes, provincia de Zarumilla, se clasifico como bueno.
2. Los análisis estadísticos para crecimiento en HT dieron como resultado que el mayor crecimiento la presento la parcela P3 con mejor altura de crecimiento con una media de 26.79 m y el valor más bajo en crecimiento lo obtuvo la P1 con una media de 6.49; ambas en el tratamiento T<sub>1</sub> (con biosólido) y que por lo tanto existe diferencia entre los tratamientos para la altura total de las especies arbóreas.
3. El análisis estadístico para el promedio de crecimiento por especie dio como resultado que no existe diferencia significativa entre los tratamientos para ninguna de las especies evaluadas, teniendo a la especie *Chloroleucon mangense* “Charán” como la que más desarrollo dentro de los dos tratamientos con una media de 3.54 metros, esto quiere decir que todas las especies desarrollaron de similar manera independientemente del tratamiento.
4. En la evaluación de la regeneración natural, la estadística arrojó que no existe diferencia significativa entre los tratamientos para las alturas de crecimiento de los brotes de especies, pero si denoto que hubo más regeneración natural en la parcela P3 de la especie *Chloroleucon mangense* “Charán”.

5. Para los análisis físico-químicos del suelo no hubo una mejora significativa de los parámetros según los tratamientos a excepción del potencial redox, donde hubo un incremento y estabilización de este en todas las parcelas con biosólido.
6. Para los análisis de los metales pesados en el suelo sufrieron un incremento para el Ni y Zn, en las parcelas que se les aplicó biosólido, micronutrientes que ayudan al engrosamiento de las raíces.
7. Los biosólidos ayudan a la estabilización de los suelos mediante la modificación de sus parámetros físico químicos, especialmente el pH y metales pesados, los cuales ayudan a regular el crecimiento de las plantas.
8. El biosólido tuvo un efecto notorio en la especie *Prosopis pallida* "Algarrobo" la cual rebrotó más rápido y su crecimiento fue más acelerado que en las especies que no recibieron este sustrato.
9. Según los resultados obtenidos la especie *Chloroleucon mangense* "Charán" tiene mejor desarrollo con el biosólido que las otras especies evaluadas, por tanto, si se trata de recuperar esta especie se recomienda la aplicación del biosólido.

## VII. RECOMENDACIONES.

1. Debido a que en el presente estudio las especies presentaron un crecimiento de HT no tan diferenciado de la aplicación con biosólido que, en el tratamiento sin aplicación del biosólido, ya que este consta de características regenerativas naturales por el tipo terreno que se evaluó, se recomienda en otros estudios y/o fertilización de suelos, utilizar el biosólido en áreas donde las condiciones ambientales del medio sean más escasas para la regeneración de las especies.
2. Se sugiere evaluar las características cualitativas como calidad y sanidad (plagas, enfermedades) de las especies evaluadas en la zona cuando alcancen su desarrollo total.
3. Se recomienda un análisis edafológico del suelo para evitar la aplicación del biosólido en suelos muy compactados.
4. Según los resultados se sugiere utilizar el biosólido para la regeneración de la especie *Prosopis pallida* “algarrobo” ya que en el tratamiento con el biosólido se vio la regeneración por rebrote de buenos ejemplares de esta especie; a diferencia del otro tratamiento, donde no se observó la regeneración tan acelerada de esta especie.

5. No se recomienda la utilización del biosólido para regenerar áreas donde exista poca actividad de deforestación y las condiciones regenerativas de la especie sea adecuada en su entorno.
6. Se recomienda la aplicación del biosólido en las condiciones ambientales que presenta la P3, ya que es en esa parcela donde se apreció mejor la acción del sustrato.
7. Establecer futuros proyectos de investigación con el biosólido evaluado en otras regiones forestales y en otras condiciones más agrestes para el crecimiento de las especies, la regeneración natural y propiedades del suelo.
8. Realizar una evaluación económica-rentable de la utilización del biosólido comparando con la eficacia versus el costo de abono del sustrato, así como los impactos económicos y ambientales que pueden producir los riesgos de una plantación de gran extensión.
9. Realizar estudios sobre los efectos del biosólido por tipo de especies sobre todo de especies catalogadas en CITES en la categoría muy amenazada.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

Andrés, P., Mateos, E., Tarrasón, D., Cabrera, C., & Figuerola, B. (2011). "Effects of digested, composted, and thermally dried sewage sludge on soil microbiota and mesofauna." *Applied soil ecology*, 48(2), 236-242.

Ali, H. M., Siddiqui, M. H., Khamis, M. H., Hassan, F. A., Salem, M. Z., & El-Mahrouk, E. S. M. (2013). "Performance of forest tree *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. under sewage effluent irrigation." *Ecological Engineering*, 61, 117-126.

Barrios, M., Longa S. (2007) *Extracción secuencial de Níquel, Cromo y Zinc en un suelo de la Cuenca del Lago de Valencia y su acumulación en plantas de sorgo*. Rev. Fac. Agron. v.24 n.4 Caracas.

Bourioug, M., Gimbert, F., Alaoui-Sehmer, L., Benbrahim, M., Aleya, L., & Alaoui-Sossé, B. (2015). "Sewage sludge application in a plantation: effects on trace metal transfer in soil–plant–snail continuum." *Science of the Total Environment*, 502, 309-314.

Decreto N°1287 (2014), República de Colombia, "Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales" 10 de julio del 2014.

EPA (1994), "A Plain English Guide to the Environmental Protection Agency, part. 503 Rule", Environmental Protection Agency, Washington.

- EPA (1995), "A Guide to the Biosolids Risk Assessments for the EPA," part 503, Environmental Protection Agency, Washington.
- EPA (2000), "Folleto informativo de tecnología de biosólidos Aplicación de biosólidos al terreno Environmental Protection Agency," Washington, D.C. 832-F-00-064.
- Fernández, L. Rojas, N.; et al. (2006). "*Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados*. Instituto Mexicano del Petróleo Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales" Instituto Nacional de Ecología México, D. F.
- Ferreiro-Domínguez, N., Rigueiro-Rodríguez, A., & Mosquera-Losada, M. R. (2012). "Sewage sludge fertiliser use: Implications for soil and plant copper evolution in forest and agronomic soils." *Science of the Total Environment*, 424, 39-47.
- Hernández, M. A. (1992), "Depuración de aguas residuales. Servicio de publicaciones de la escuela de ingenieros de caminos de Madrid," España, p. 713.
- Mahamud, M., Gutiérrez, A., & Sastre, H. (1998). Biosolids management in Spain: A case study. *Waste Management*, 17(7), 463-472.
- Moeller, G. (1997), "Biological Treatment of Municipal Sludge. Biotechnology for Water Use and Conservation The Mexico 96 Workshop," OECD, Cedex, París, Francia.
- Murillo-Torres, R. M., Barrios-Pérez, J. A., & Jiménez Cisneros, B. (2002). "Aplicación de biosólidos como mejoradores de suelos salino-sódicos." In *XIII congreso nacional FEMISCA*.

- Nieminen, J. K., & Räsänen, M. (2013). "Effects of sewage sludge addition to Norway spruce seedlings on nitrogen availability and soil fauna in clear-cut areas." *Environmental pollution*, 178, 306-311.
- Norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT (2002), "Protección ambiental.- lodos y biosólidos.- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final," 5 de agosto de 2003.
- Norma técnica obligatoria nicaragüense NTOM-11 044 – 14 (2014), "Biosólidos para uso en la producción agropecuaria y forestal. Requisitos y niveles máximos permisibles," 09 de julio de 2014.
- Ozores-Hampton, M., & Mendez, J. (2010). "Uso de biosólidos en producción de hortalizas." *Publicación del Departamento de Horticultural Sciences. Universidad de la Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences Extension, Florida.*
- Ortiz-Hernández, M. I., Gutiérrez-Ruiz, m. e., & Sánchez-Salinas, e. (1995). "propuesta de manejo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de la ciudad industrial del valle de Cuernavaca, estado de Morelos, México." *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 11(2), 105-115.
- Peña, A., Mingorance, M. D., Guzmán-Carrizosa, I., & Fernández-Espinosa, A. J. (2015). "Improving the mining soil quality for a vegetation cover after addition of sewage sludges: Inorganic ions and low-molecular-weight organic acids in the soil solution." *Journal of environmental management*, 150, 216-225.
- Price, G. W., Astatkie, T., Gillis, J. D., & Liu, K. (2015). "Long-term influences on nitrogen dynamics and pH in an acidic sandy soil after single and multi-year

applications of alkaline treated biosolids.” *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 208, 1-11.

Reymond, P. “Planificación de sistemas integrados de manejo de lodos fecales.”  
Cap. 17, 359 – 385.

Rivero, S. H. T., & Borunda, E. O. “Uso de biosólidos en la nutrición del nogal pecanero use of biosolids in pecan nutrition.”

Rrong, W., Aiping, T., & Ashraf, M. A. (2015). “The effects of applying sewage sludge into Jiangxi red soil on the growth of vegetables and the migration and enrichment of Cu and Zn.” *Saudi Journal of Biological Sciences*.

Ruiz Suárez, E. J. (2015). “Manejo de biosólidos a raíz de la nueva normatividad en la PTAR RÍO FRÍO,” Bucaramanga (Santander).

Salazar, C. (2013). “*Estudio silvicultural de tres especies forestales en una plantación en san juan, loreto-perú.*” Tesis, Facultad de ciencias forestales, UNAP.

Solares, A. (2014). “*Evaluación del crecimiento y desarrollo de plantas de teca (Tectona Grandis L.f.) producidas mediante semilla y clones, en finca la colorada, sayaxché, petén.*” Tesis, San Juan Chamelco, Alta Verapaz, Guatemala.

Strande, L., Ronteltap, M., & Brdjanovic, D. (Eds.). (2014). “*Faecal Sludge Management: Systems Approach for Implementation and Operation.*” IWA Publishing.

- Suciu, N. A., Lamastra, L., & Trevisan, M. (2015). "PAHs content of sewage sludge in Europe and its use as soil fertilizer." *Waste Management*, 41, 119-127.
- Toribio, M., & Romanyà, J. (2006). "Leaching of heavy metals (Cu, Ni and Zn) and organic matter after sewage sludge application to Mediterranean forest soils." *Science of the Total Environment*, 363(1), 11-21.
- Xue, J., Kimberley, M. O., Ross, C., Gielen, G., Tremblay, L. A., Champeau, O., ... & Wang, H. (2015). "Ecological impacts of long-term application of biosolids to a radiata pine plantation." *Science of The Total Environment*, 530, 233-240.
- Velez Zuluaga, J. A., 2012. *Biosolids: A problem or a solution*, Vol. 2 No. 2.
- Wang, H., Wang, C., Chen, F., Ma, M., Lin, Z., Wang, W., & Wang, X. (2012). "Modification to degradation of hexazinone in forest soils amended with sewage sludge." *Journal of hazardous materials*, 199, 96-104.
- Zeitouni, R. (2005). *Análise Crítica da Norma CETESB P 4.230–"Aplicação de Lodos de Sistemas de Tratamento Biológico em Áreas Agrícolas–Critérios Para Projeto e Operação"* (Doctoral dissertation, Dissertação de Mestrado. Instituto Agronômico de Campinas, Campinas).

## IX. ANEXOS

### Anexo 1: Panel Fotográfico



**Figura 16.** Especie *Prosopis pallida* "Algarrobo" en estado de regeneración por rebrotes en la parte afectada.



**Figura 17.** Especie *Chloroleucon mangense* "Charan" en estado de deforestado



**Figura 18.** Especie *Mimosa albida* "Acerilla" en estado de regeneración por rebrotes en la parte afectada deforestado.



**Figura 19.** Especie *Cordia lutea* "Overo" en estado de regeneración por rebrotes en la parte afectada deforestado.

## Anexo 1: Panel Fotográfico Continuación



**Figura 20.** Especie *Achatocarpus pubescens* “Negrito” en estado de regeneración por rebrotes en la parte afectada deforestado.



**Figura 21.** Especie *Pithecellobium excelsum* “Quiriquinchi” en estado de regeneración por rebrotes en la parte afectada deforestado.



**Figura 22.** Especie *Bougainvillea peruviana* “Papelillo” en estado de regeneración por rebrotes en la parte afectada deforestado.



**Figura 23.** Rebrote en la parte lateral de la Especie *Prosopis pallida* “Algarrobo” por efecto del biosólido.

## Anexo 1: Panel Fotográfico Continuación



**Figura 24.** Supervisión por parte del asesor y co-asesor en las parcelas de muestreo.



**Figura 25.** Crecimiento de herbáceas en la parcela P1 en periodo de lluvias.

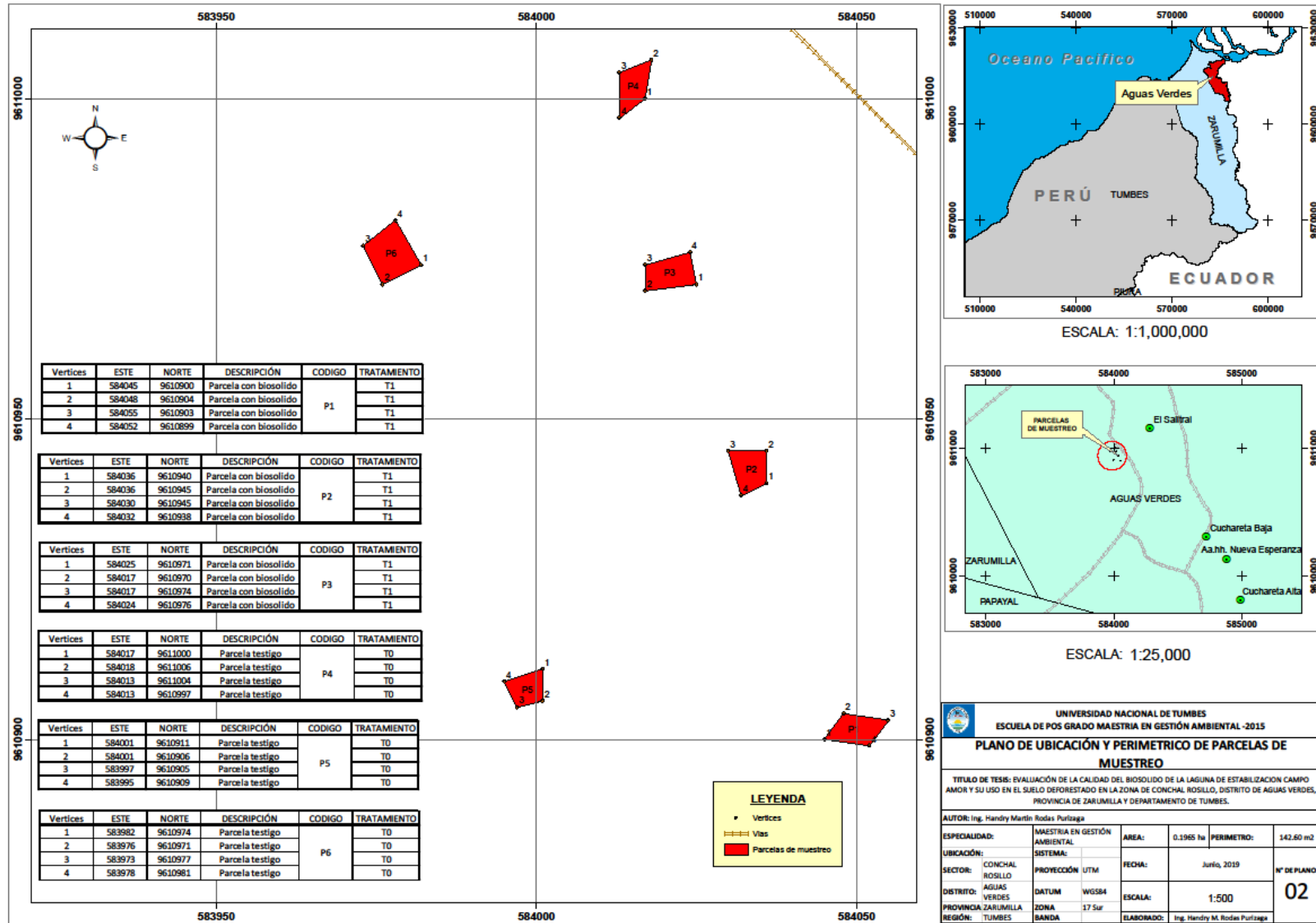


**Figura 26.** Crecimiento de herbáceas en la parcela P1 en periodo de lluvias.

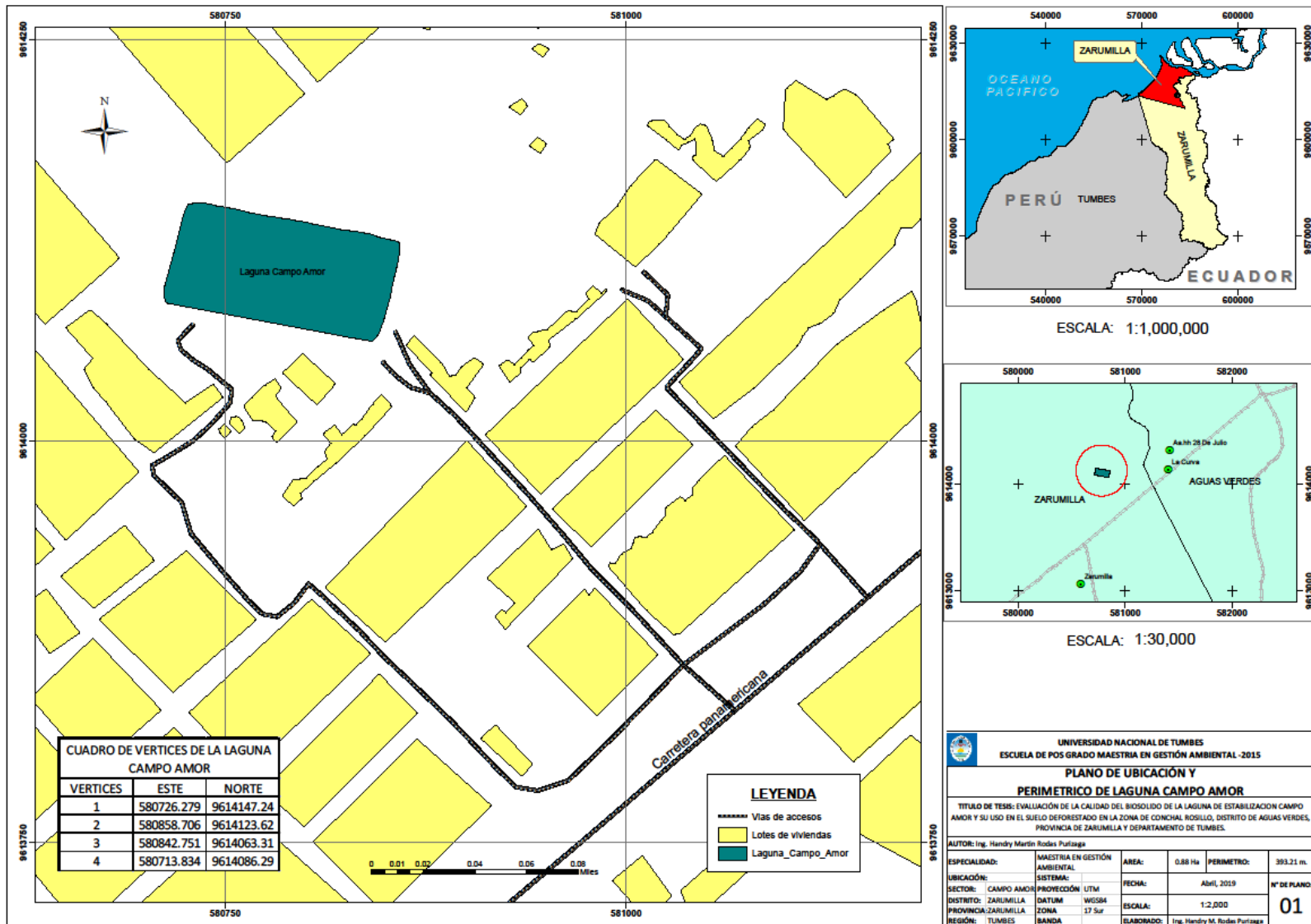


**Figura 27.** Crecimiento de herbáceas en la parcela P6 en periodo de lluvias.

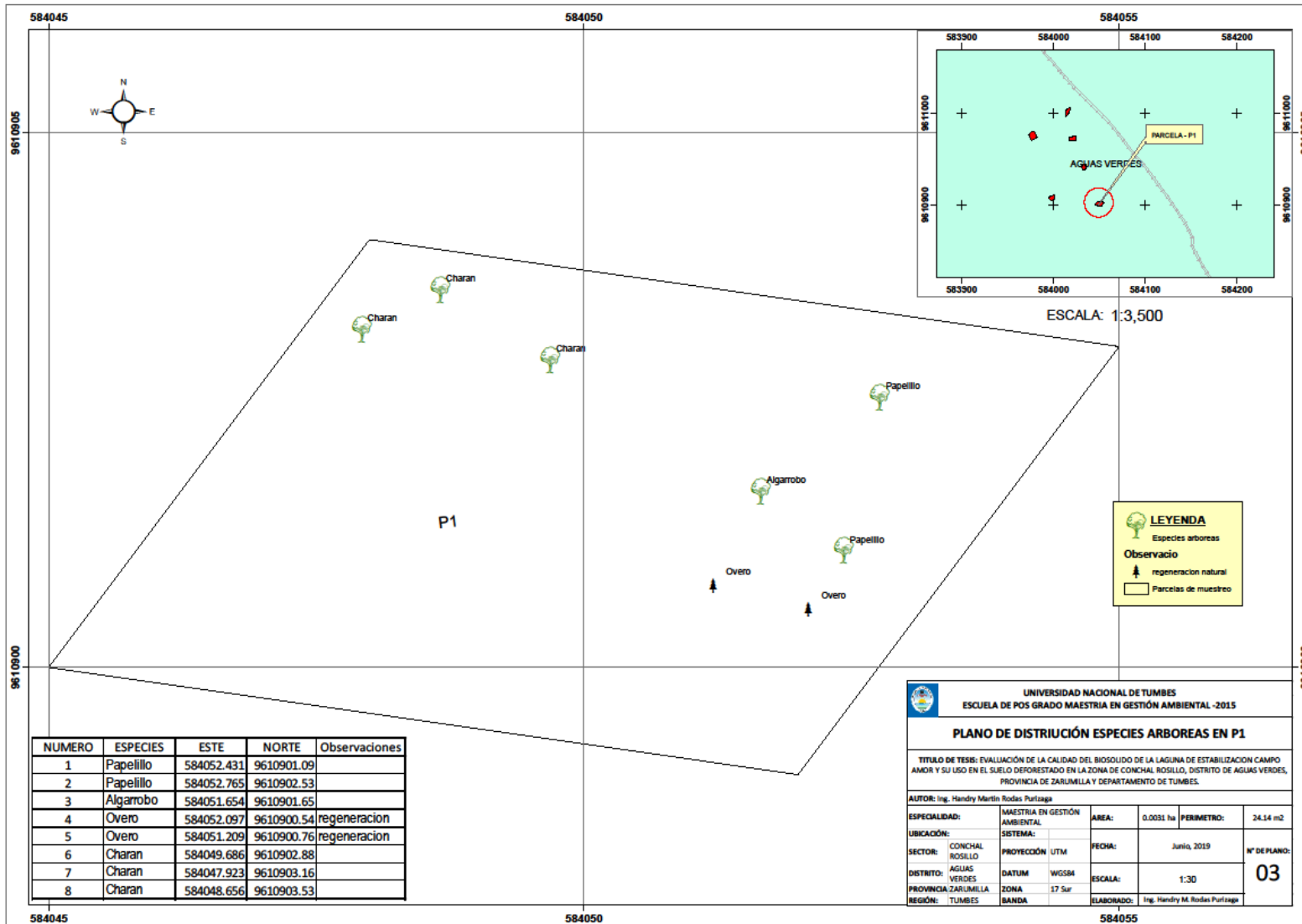
## Anexo 2: Plano de ubicación y perimétrico de Laguna Campo Amor.



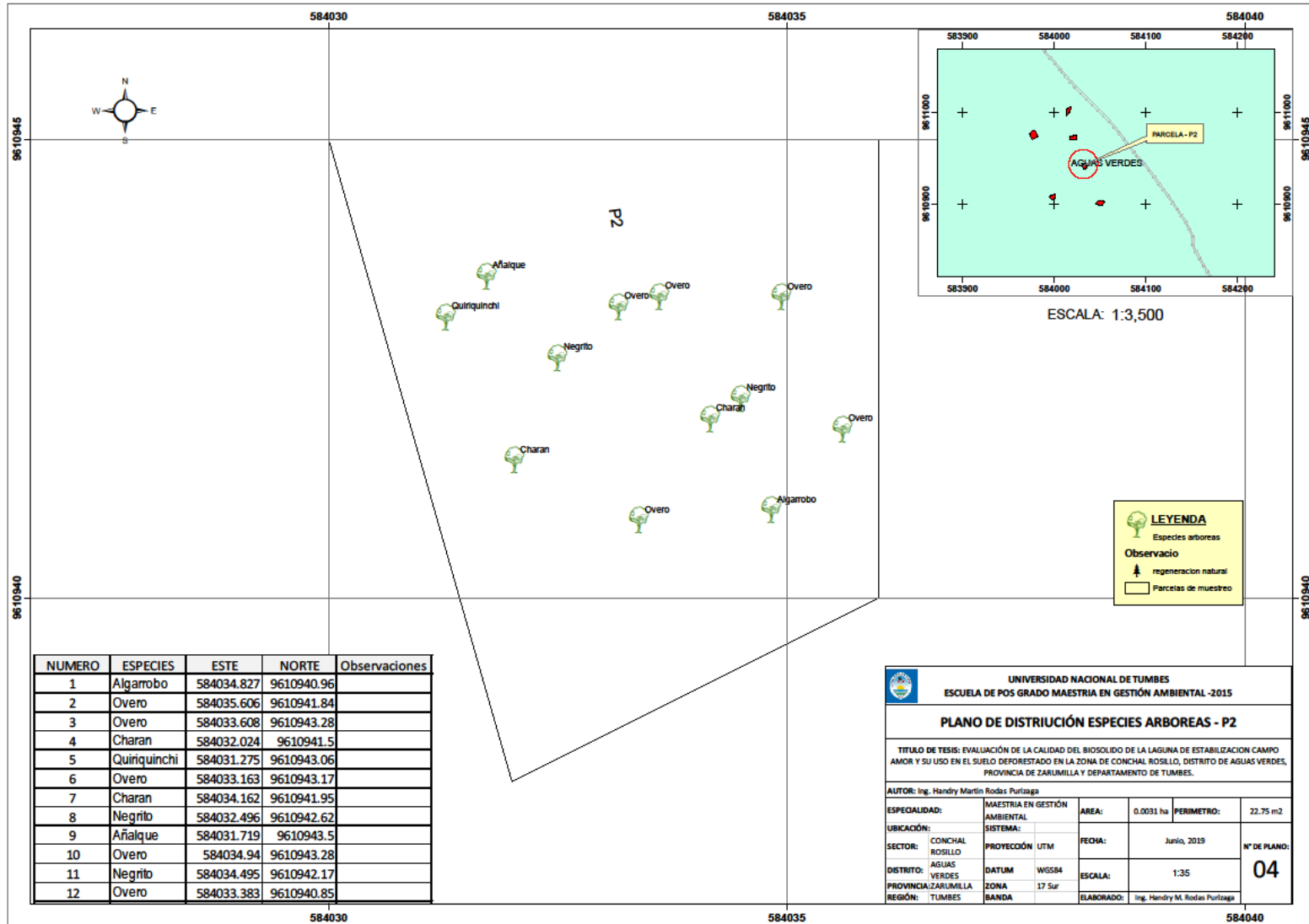
### Anexo 3: Plano de ubicación y perimétrico de Parcelas de Muestreo.



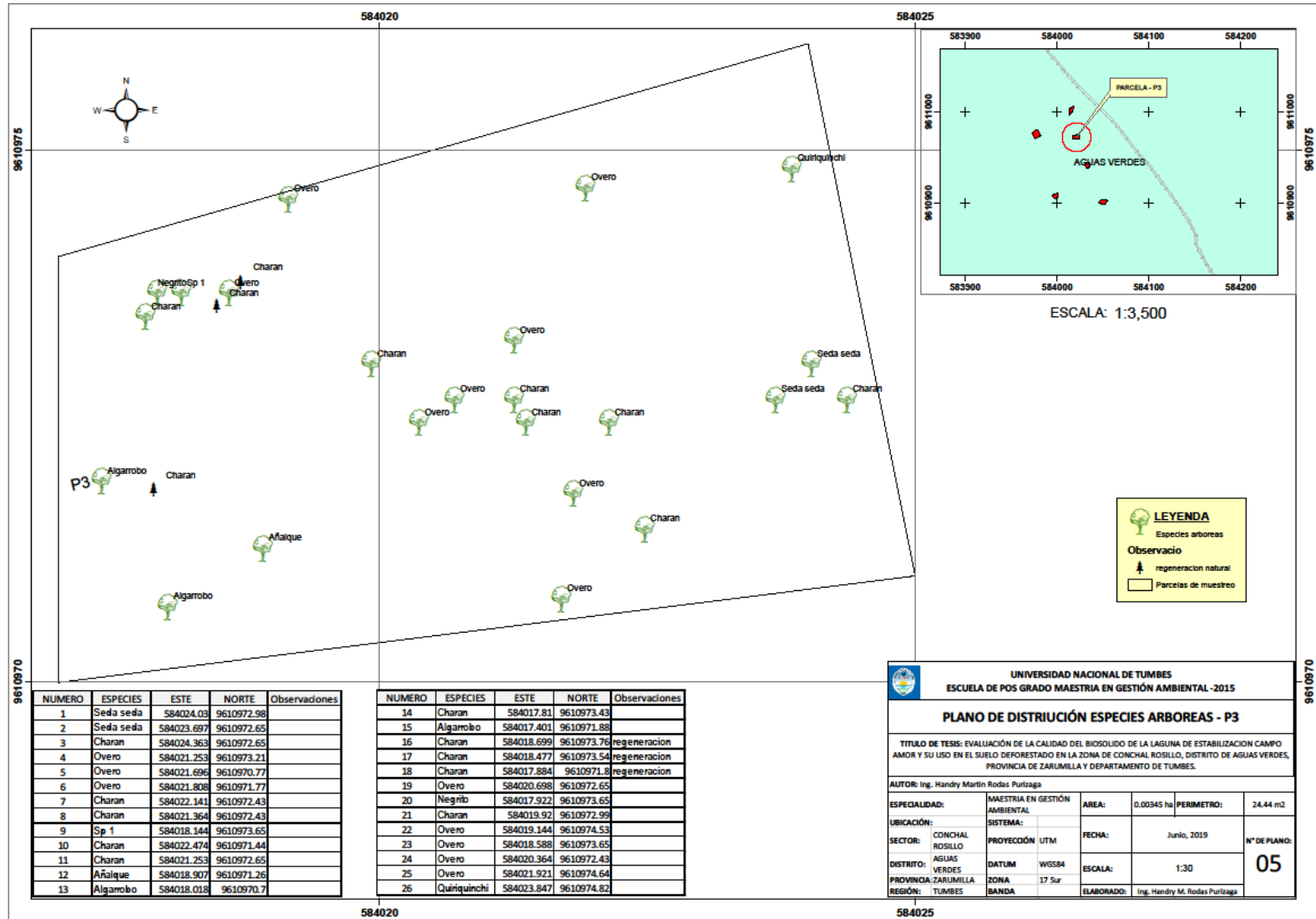
### Anexo 4: Plano distribución especies arbóreas en P1.



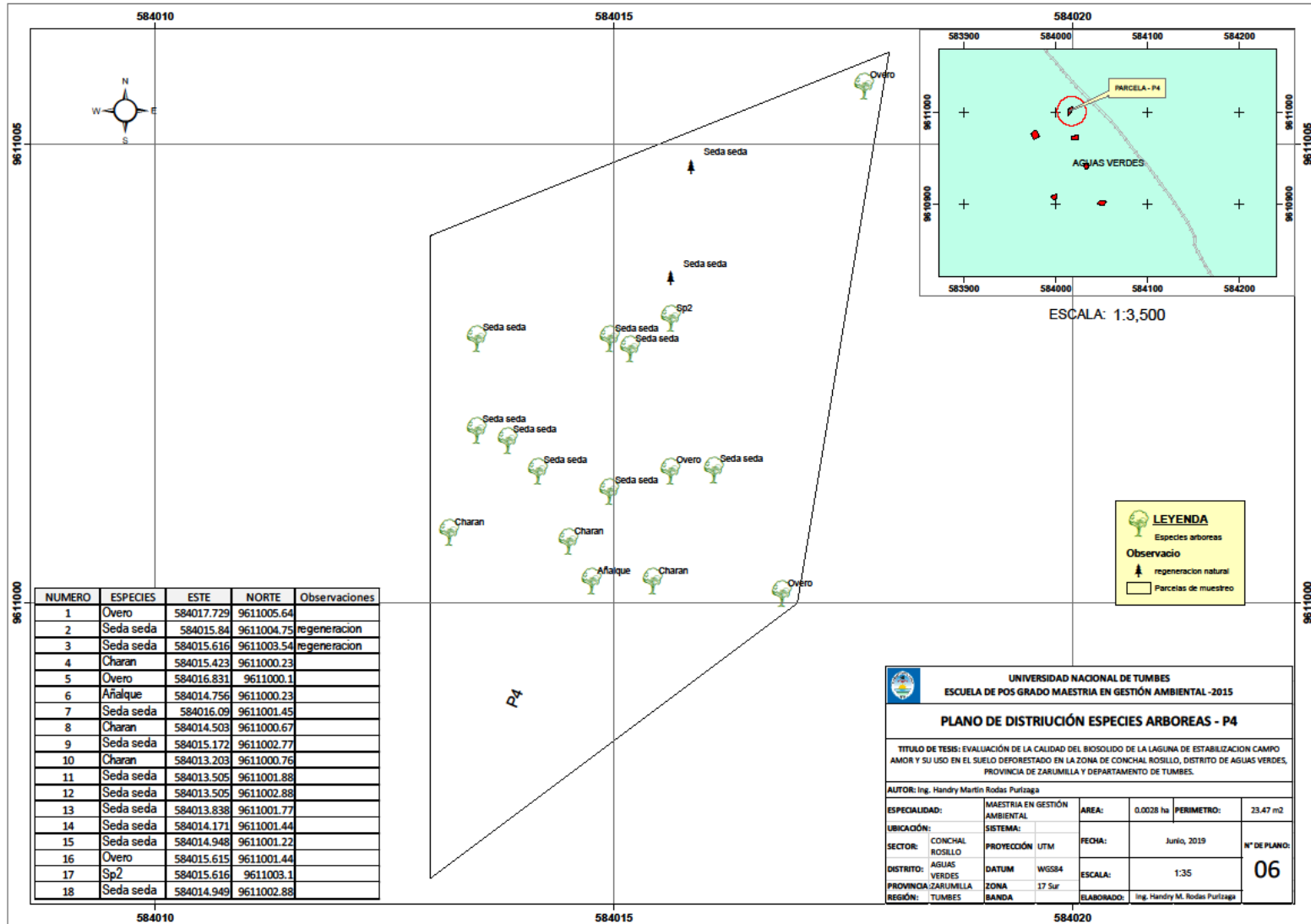
## Anexo 5: Plano distribución especies arbóreas en P2



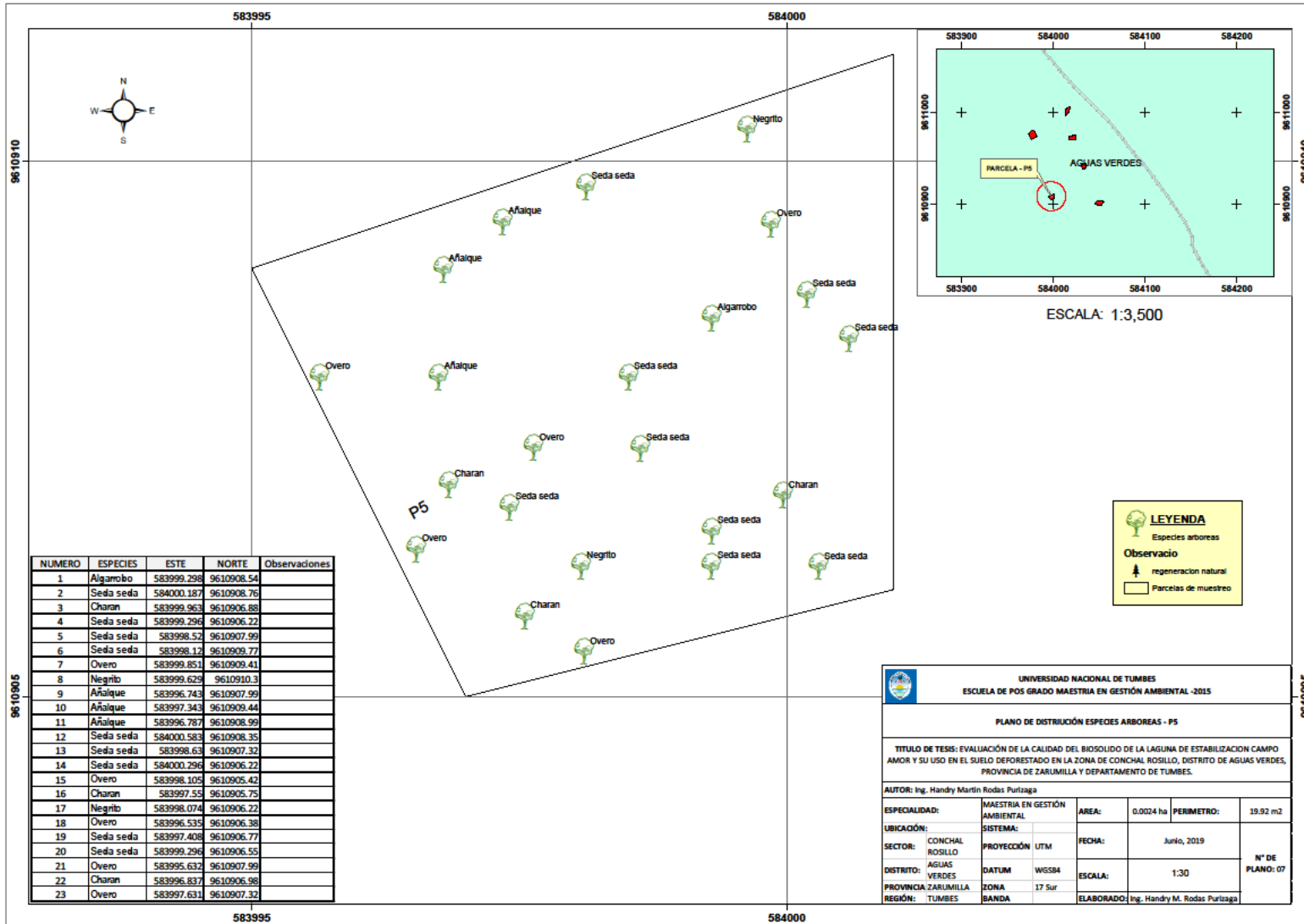
## Anexo 6: Plano distribución especies arbóreas en P3



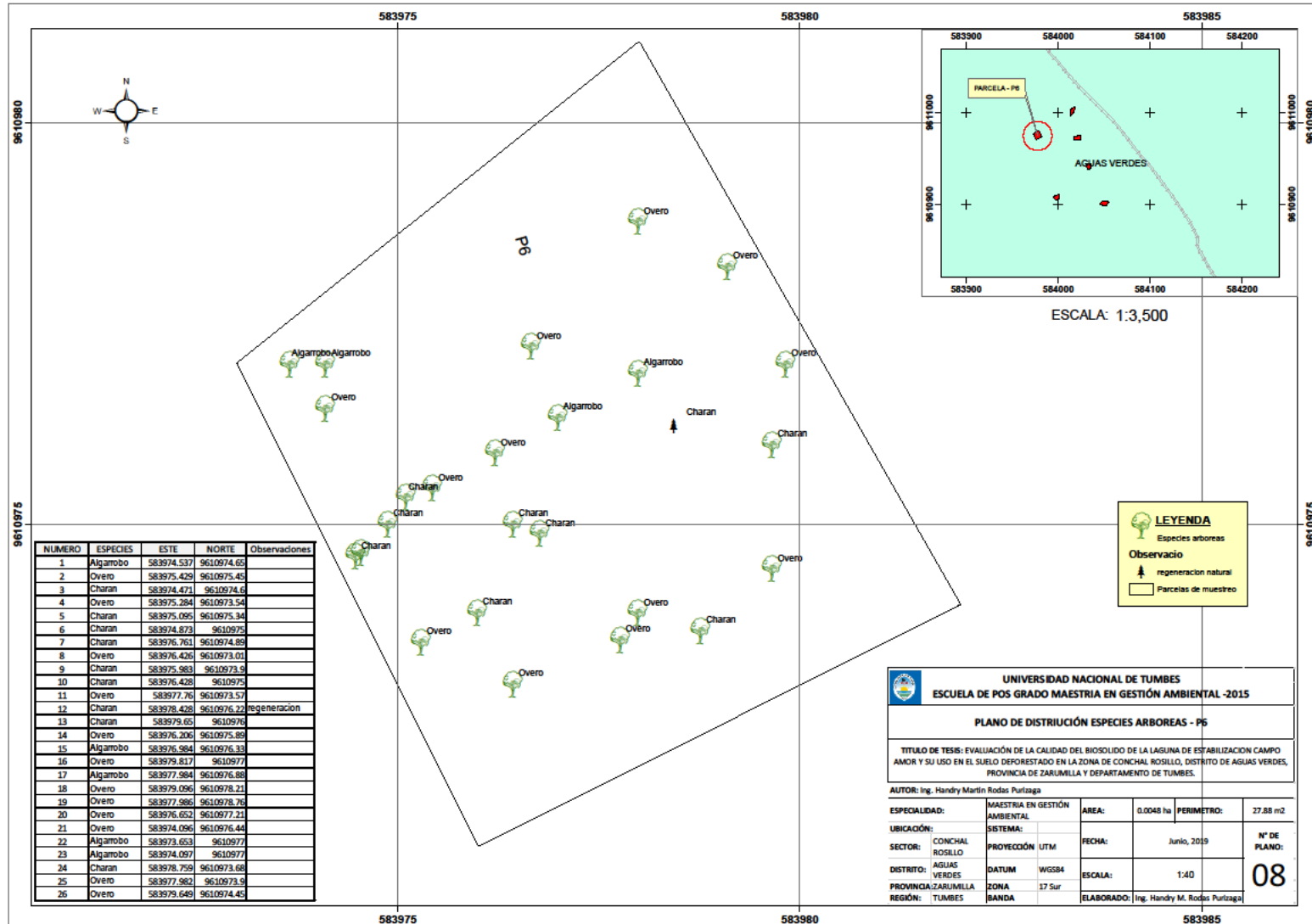
## Anexo 7: Plano distribución especies arbóreas en P4



## Anexo 8: Plano distribución especies arbóreas en P5



## Anexo 9: Plano distribución especies arbóreas en P6



## Anexo 10: Universidad Nacional de Piura Informe de Ensayo 085-2018



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA  
FACULTAD DE INGENIERÍA PESQUERA  
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



### INFORME DE ENSAYO N° 085-2018

Pág. 1 / 1

SOLICITANTE : Handry Martin Rodas Purizaga  
DOMICILIO LEGAL : Tumbes  
PRODUCTO DECLARADO : M01 (Lodo crudo de la laguna de estabilización)  
M02 (Lodo estabilizado)  
CANTIDAD DE MUESTRA : 2000g c/u  
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA : Laguna de estabilización 28 de julio ubicado en la provincia de Zarumilla,  
Región de Tumbes.  
FORMA DE PRESENTACIÓN : Envase plástico con tapa (10 unidades)  
FECHA DE RECEPCIÓN : 12-07-2018  
FECHA DE INICIO DEL ENSAYO : 12-07-2018  
FECHA DE TÉRMINO DEL ENSAYO : 30-07-2018

ENSAYOS QUÍMICOS	RESULTADOS	
	M01	M02
Arsénico (mg/kg)	<10	<10
Cadmio (mg/Kg)	<10	<10
Cromo (mg/kg)	18.20	10.32
Cobre (mg/kg)	84.20	65.20
Plomo (mg/kg)	<10	<10
Mercurio (mg/kg)	<10	<10
Níquel (mg/kg)	52.89	45.87
Zinc (mg/kg)	321.10	296.20

ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS	RESULTADOS	
	M01	M02
<i>Escherichia coli</i> (NMP/g)	2x10 <sup>6</sup>	5x10 <sup>6</sup>
Huevos de helmintos (N° huevos/1000g)	35	12

#### MÉTODOS:

Arsénico, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel, zinc: Espectrofotometría

*Escherichia coli*: ICMSF, Pág. 132-134, 138-142, 3da Ed. Reimpresión 2000

Huevos de helmintos: Manual de técnicas de parasitología y bacteriología de laboratorio. OMS. Pág. 3-16. RACHELM AYRES & D. DUNCAN MARA

Piura, 30 de julio del 2018



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA  
FACULTAD DE INGENIERÍA PESQUERA  
LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD  
ING. HUALTER LEYTON MASIAS M.Sc.  
JEFE  
CIP. 22850

## Anexo 11: Universidad Nacional de Piura Informe de Ensayo 085-2018 -B



### UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA FACULTAD DE INGENIERÍA PESQUERA LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



Lib. Miraflores-Campus Universitario 3/N- Castilla-Piura  
Teléfonos: (073)-284700- (073)-285251  
labocontrolfp@unp.edu.pe

#### INFORME DE ENSAYO N° 085-2019

SOLICITANTE	HANDRY MARTIN RODAS PUREAGA
DIRECCION	TUMBES
PRODUCTO DECLARADO	<b>SUELOS</b>
CANTIDAD DE MUESTRA	6 MUESTRAS X 300 g (ENSAYOS FISICOQUIMICOS)
	6 MUESTRAS X 150 g (ENSAYOS MICROBIOLOGICOS)
PRESENTACION DE LA MUESTRA	BOLSA DE POLETILENO A TEMPERATURA AMBIENTE
CONDICION DE LA MUESTRA	EN BUEN ESTADO
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA	TESIS "EVALUACION DE LA CALIDAD DEL BIOSOLIDO DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION CAMPO AMOR Y SU USO EN EL SUELO DEFORESTADO EN LA ZONA DE CONCHAL ROSILLO, DISTRITO DE AGUAS VERDES, PROVINCIA DE ZARUMILLA Y DEPARTAMENTO DE TUMBES"
MUESTRO	REALIZADO POR EL SOLICITANTE/ MUESTRA ALCANZADA AL LABORATORIO
ENSAYO REALIZADO EN	LABORATORIO DE ENSAYOS INSTRUMENTALES LABORATORIO DE ENSAYOS MICROBIOLOGICOS
FECHA DE RECEPCION	19-06-2019
FECHA DE INICIO DEL ENSAYO	19-06-2019
FECHA DE TERMINO DEL ENSAYO	26-06-2019

#### I. ENSAYOS QUÍMICOS

N°	ENSAYOS	RESULTADOS					
		P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	Fosforo (mg/kg)	28	30	36	32	30	28
2	Calcio (mg/kg)	1100	920	980	1250	2200	2010
3	Potasio (mg/kg)	370	380	410	480	400	390

#### II. ENSAYOS INORGANICOS

N°	MUESTRAS	RESULTADOS						
		Cd mg/Kg	Cr mg/Kg	Cu mg/Kg	Pb mg/Kg	Hg mg/Kg	Ni mg/Kg	Zn mg/Kg
1	Suelos mezcladas (P1- P3)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	3.20	12.10
2	Suelos mezcladas (P4- P6)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	1.75	9.80

#### III. ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS

N°	ENSAYOS	RESULTADOS					
		P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	Escherichia coli (NMP/g)	<3	<3	<3	<3	<3	<3
2	Salmonella/10g	0	0	0	0	0	0
3	Huevos de helmintos (N° huevos/1000g)	5	3	3	5	4	1

#### IV. MÉTODOS DE ENSAYO

Calcio, Fosforo, Potasio: NOM-021-SEMARNA T-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestra y análisis  
Metales inorgánicos: Espectrofotometría  
Escherichia coli: ICMSF. Pág. 132-134, 138-142. 3da Ed. Reimpresión 2000  
Salmonella: ICMSF Microorganismos de los Alimentos. Su significado y métodos de enumeración. Pág. 172-176 Item 10: (a) y (c). 177-181-178-180. 3da Ed. Reimpresión 2000  
Huevos de helmintos: Manual de técnicas de parasitología y bacteriología de laboratorio. OMS. Pág. 3-16. RACHELM AYRES & D. DUNCAN MARRA

Piura, 26 de junio de 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA  
FACULTAD DE INGENIERÍA PESQUERA  
LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD  
ING. HUALTER LEYTON MASIAS M.Sc.  
F.P.P.

## Anexo 12: Universidad Nacional de Piura Informe de Ensayo 085-2018-C



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA  
FACULTAD DE INGENIERÍA PESQUERA  
**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD**

Urb. Miraflores-Campus Universitario S/N- Castilla-Piura  
Teléfonos: (073)-284700- (073)-285251  
labocontrolip@unp.edu.pe



### INFORME DE ENSAYO N° 085-2018

SOLICITANTE : Handry Martín Rodas Purizaga  
DOMICILIO LEGAL : Tumbes  
PRODUCTO DECLARADO : M01 (Lodo crudo de la laguna de estabilización)  
M02 (Lodo estabilizado)  
CANTIDAD DE MUESTRA : 2000g c/u  
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA : Laguna de estabilización de Campo Amor situada en el distrito de Zarumilla, provincia de Zarumilla, departamento de Tumbes.  
FORMA DE PRESENTACIÓN : Envase plástico con tapa (10 unidades)  
FECHA DE RECEPCIÓN : 12-07-2018  
FECHA DE INICIO DEL ENSAYO : 12-07-2018  
FECHA DE TÉRMINO DEL ENSAYO : 30-07-2018

ENSAYOS QUIMICOS	RESULTADOS	
	M01	M02
Arsénico (mg/kg)	<10	<10
Cadmio (mg/kg)	<10	<10
Cromo (mg/kg)	18.20	10.32
Cobre (mg/kg)	84.20	65.20
Plomo (mg/kg)	<10	<10
Mercurio (mg/kg)	<10	<10
Níquel (mg/kg)	52.89	45.87
Zinc (mg/kg)	321.10	298.20

ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS	RESULTADOS	
	M01	M02
Escherichia coli (NM <sup>10</sup> /g)	2x10 <sup>6</sup>	5x10 <sup>6</sup>
Huevos de helmintos (N° huevos/1000g)	35	12

#### MÉTODOS:

Arsénico, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel, zinc: Espectrofotometría

Escherichia coli: ICMSF, Pág. 132-134, 135-142, 2da Ed. Reimpresión 2000

Huevos de helmintos: Manual de técnicas de parasitología y bacteriología de laboratorio, OMS, Pág. 3-16, RACHELM AYRES & D. DUNCAN MARR

Piura, 30 de julio del 2018



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA  
FACULTAD DE INGENIERÍA PESQUERA  
LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD  
ING. HUALTER LEYTON MASIAS M.Sc.  
I.P.E.  
1977