

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



“Efecto del abonamiento con biosólidos primarios generados en la PTAR “La Titora” en el rendimiento y calidad sanitaria de lechuga (*Lactuca sativa L.*) variedad *Great Lakes* - Ayacucho 2009-2010”

**TESIS PARA OBTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
BIÓLOGO CON MENCIÓN EN MICROBIOLOGÍA**

PRESENTADO POR: Bach. ANAYA HUARCAYA, César

AYACUCHO – PERÚ

2012

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
R.D. 485-2012 – FCB**

En la ciudad de Ayacucho, siendo las diez de la mañana del día viernes veintiocho de diciembre del dos mil doce, en el auditorium de la Facultad de Ciencias Biológicas, bajo la presidencia del Dr. Tomas Castro Carranza, Decano de la FCB, con la asistencia de los miembros. Mg. Martín Tenorio Bautista, Dr. Saúl Chuchón Martínez, MSc. Elmer Avalos Pérez y Blga. Sonia palomino Felices, actuando como secretaria docente (e), según Memo N° 736-2012-UNSCHE-FCB, se reunieron para recepcionar la sustentación de tesis: Efecto de abonamiento con biosólidos primarios generados en la PTAR "La Totorá" en el rendimiento y calidad sanitaria de lechuga (*lactuca sativa L*) variedad Great Lakes – Ayacucho 2009. Presentado por César Anaya Huarcaya Quien Pretende Optar el título profesional de Biólogo, especialidad de Microbiología.

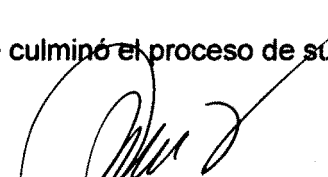
El Decano, como presidente de este acto de sustentación, inicia el acto de sustentación solicitando a la secretaria (e) la revisión de la documentación y la lectura de la R.D. 485-2012-FCB-D y luego instruyendo al sustentante que inicie el acto sustentación en un tiempo no mayor a cuarenta y cinco minutos.

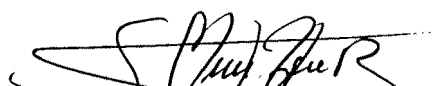
Culminada la exposición, el presidente invitó a los miembros del jurado para solicitar aclaraciones y preguntas necesarias al sustentante. Luego de terminadas las preguntas, el presidente invitó al sustentante y al público asistente abandonar el ambiente para que el jurado calificador pueda deliberar la calificación resultando de la manera siguiente:


Jurado calificador	Exposición	Respuesta	Promedio
Dr. S. Tomás Castro Carranza			
Mg. Martin Tenorio Bautista	16	13	15
Dr. Saúl Chuchón Martínez	17	15	16
Blga. Sonia Palomino Felices	13	13	13
MS. Elmer Avalos Pérez	14	12	13
PROMEDIO:			14

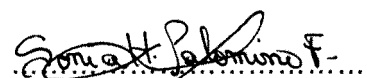
De la evaluación realizada por los miembros del jurado calificador, el sustentante obtiene la nota promedio de CATORCE (14) de lo cual dan fe, estampando su firma al pie de la presente.

Se culminó el proceso de sustentación siendo las doce del medio día.


.....
Dr. Tomás Castro Carranza
Presidente


.....
Mg. Martín Tenorio Bautista
Miembro


.....
Dr. Saúl Chuchón Martínez
Miembro- Asesor


.....
Blga. Sonia H. Palomino F.
Miembro – Secretaria (o)


.....
MS. Elmer Avalos Pérez
Miembro

Íntegramente a mis queridos padres,
quienes de manera incondicional me dieron
su apoyo durante mi formación profesional,
gracias a ello he podido concretar mi carrera
profesional de Biólogo.

A mis hermanos, quienes con sus
recomendaciones acertadas influyeron en mi
formación profesional y en la ejecución de la
investigación.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga *Alma Mater* del saber y tricentenario Casa superior de estudios. A la Facultad de Ciencias Biológicas y a todos sus docentes.

Mi sincero agradecimiento a la Empresa Prestadora de Servicios de Agua y Saneamiento (EPSASA), al Bach. en Ciencias Biológicas Rudesindo Huincho Rodríguez, Jefe de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "La Totorá".

Mi más profundo agradecimiento al Dr. Saúl Alonso Chuchón Martínez, asesor del presente trabajo, por compartir sus conocimientos y orientaciones que hicieron posible el desarrollo y culminación de esta investigación.

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	V
I. INTRODUCCIÓN	01
II. MARCO TEÓRICO	03
2.1. Aguas Residuales	03
2.2. Planta de tratamiento de aguas residuales	04
2.3. Planta de tratamiento de aguas residuales "La "Totora"	09
2.4. Biosólidos	14
2.5. Características de los biosólidos	16
2.6. Clasificación de biosólidos	17
2.7. Biosólidos Primarios	18
2.8. Uso de los biosólidos	20
2.9. Normatividad y clasificación de biosólidos	26
2.10. Antecedentes de trabajo con biosólidos	27
2.11. Abonamiento	34
2.12. Rendimiento	35
III. MATERIALES Y MÉTODOS	36
3.1. Ubicación de la zona de estudio	36
3.2. Preparación de almácigo	36
3.3. Preparación de terreno y fertilización	37
3.4. Descripción del campo experimental	39
3.5. Diseño experimental	39
3.6. Selección y puntos de muestreo	39
3.7. Muestras para determinar el rendimiento	39
3.8. Muestras para determinar la calidad sanitaria	40
3.9. Número y frecuencia de muestreo	40
3.10. Análisis microbiológico	40
3.11. Determinación de rendimiento	43
3.12. Análisis estadístico	44
IV. RESULTADOS	45
V. DISCUSIÓN	56
VI. CONCLUSIONES	64
VII. RECOMENDACIONES	64
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
ANEXOS	

“Efecto del abonamiento con biosólidos primarios generados en la PTAR “La Totorá” en el rendimiento y calidad sanitaria de lechuga (*Lactuca sativa* L.) variedad *Great Lakes* - Ayacucho 2009-2010”

Autor : Bach. En Ciencias Biológicas César Anaya Huarcaya.

Asesor: Dr. Saúl Alóñsò Chuchón Martínez.

RESUMEN

Se realizó entre los meses de Julio 2009 a Enero 2010, con la finalidad de evaluar el efecto del abonamiento con biosólidos primarios generados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) “La Totorá”; en el rendimiento y calidad sanitaria de la lechuga *Var. Great Lakes*. Se evaluaron 5 tratamientos con 4 repeticiones. Las dosis aplicadas fueron: Testigo: tratamiento 1 (0 TM/ha), tratamiento 2 (5 TM/ha), tratamiento 3 (10 TM/ha), tratamiento 4 (15 TM/ha), tratamiento 5 (20 TM/ha) de biosólido. La siembra se realizó en un terreno en el distrito de Carmen Alto, provincia de Huamanga a una altitud de 2780 msnm, fueron regados con agua potable de la EPSASA. Se analizaron 30 muestras de lechuga y las técnicas aplicadas fueron: tubos múltiples para la determinación de coliformes, el recuento de mesófilos heterotróficos viables por la técnica de recuento en placa, (Standard Methods Fort he Examination of Water and Wastewater (1985), y la técnica cualitativa adaptada del método propuesto por APHA (1985) para la detección de *salmonella*. Fueron analizadas en el Laboratorio de Microbiología Ambiental de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (UNSCH). Los resultados indican que los niveles 10 TM/ha (tratamiento 3); 15 TM/ha (tratamiento 4) y 20 TM/ha (tratamiento 5) de biosólidos son los que mejores rendimientos dieron en cultivos de lechuga *Var. Great Lakes*, incrementando en peso (g) y diámetro (cm), en comparación a los niveles 0 TM/ha (tratamiento 1) y 10 TM/ha (tratamiento 2), que dieron como resultado rendimientos menores. Los resultados de la calidad sanitaria de lechuga *Var. Great Lakes*, abonados con biosólidos primarios generados en la PTAR “La Totorá” no son considerados aptos para consumo humano puesto que todas las muestras analizadas superan los límites máximos permisibles establecidos en los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebida de consumo humano, aprobado con Resolución Ministerial Nº 615-2003-SA/DM. Los biosólidos generados en la PTAR “La Totorá” se clasifican como de clase B, según EPA-832, 2000 (Chuchón, 2010).

Palabras clave: biosólidos, rendimiento, calidad sanitaria, lechuga.

I. INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Ayacucho existe la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) "La Totorá" que a través del tratamiento primario por sistemas Imhoff genera los biosólidos primarios, los mismos que son deshidratados en los lechos de secado, los que son comercializados a diferentes agricultores y usados por éstos como abonos para diferentes cultivos (EPSASA, 2004). Los biosólidos son considerados como un producto originado después de un proceso de estabilización para reducir su nivel de patogenicidad, su poder de fermentación y su capacidad de atracción de vectores, gracias a este proceso el biosólido tiene aptitud para utilización agrícola y forestal, recuperación forestal, compostaje, lombricultura y recuperación de suelos degradados (Dágner, 2003b). El uso de los biosólidos se considera como una forma de reciclarlos benéficamente y solucionar algunos de los problemas ambientales relacionados, permitiendo reducir el uso de fertilizantes químicos comerciales, ofrecer la oportunidad de proveer nitrógeno a bajo costo para los cultivos y también suministrar otros nutrientes como: fósforo, hierro, zinc y cobre disponibles para la planta. Actualmente no se conoce el efecto del uso de estos biosólidos generados en la PTAR "La Totorá" en la producción de diferentes productos agrícolas, y más aún se desconoce si todos los efectos son totalmente benéficos tales como si mejora la calidad agrícola del suelo, si hay mayor producción y rendimiento en los

productos agrícolas o si presentan riesgos para la salud humana. Sin embargo, existiendo antecedentes de su uso en otros países y teniendo conocimiento de las bondades de uso de estos biosólidos en la agricultura como abono orgánico, el presente trabajo pretendió investigar el efecto del abonamiento con biosólidos primarios generados en la PTAR "La Titora" en el rendimiento y calidad sanitaria de lechuga (*Lactuca sativa L.*) variedad Great Lakes - Ayacucho 2009-2010. La investigación se realizó con la finalidad de proponer una alternativa de solución para la agricultura ayacuchana en la producción y rendimiento de los cultivos, teniendo en cuenta que actualmente en nuestra región se utilizan generalmente abonos sintéticos, que genera costos elevados y empobrecimiento o degradación de los campos de cultivo (EPSASA, 2004).

En el trabajo de investigación se planteó como:

Objetivo General:

- Evaluar el rendimiento y calidad sanitaria de cultivos de Lechuga (*Lactuca sativa L.*) abonados durante el periodo julio 2009 a enero 2010.

Objetivos Específicos:

- Determinar el rendimiento de Lechuga (*Lactuca sativa L.*) variedad Great Lakes abonados con biosólidos primarios durante el periodo julio 2009 a enero 2010.
- Determinar la calidad sanitaria de la Lechuga (*Lactuca sativa L.*) variedad Great Lakes abonados con biosólidos primarios durante el periodo julio 2009 a enero 2010.
- Determinar el nivel de abonamiento con biosólidos primarios para un mejor rendimiento de Lechuga (*Lactuca sativa L.*) variedad Great Lakes durante el periodo julio 2009 a enero 2010.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales pueden definirse como las que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias, siendo recogidas por la red de alcantarillado que las conducirá hacia un destino apropiado (Rolim, 2000).

Según su origen, las aguas residuales resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua, que provienen de: residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con los residuos de las industrias y de actividades agrícolas, así como de las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que también pueden agregarse eventualmente al agua residual. Así de acuerdo con su origen, las aguas residuales pueden ser clasificadas como:

- Domésticas.- Son aquellas aguas que son utilizadas con fines higiénicos (sanitarios, cocinas, lavanderías, etc.) consisten básicamente en residuos humanos que llegan a las redes de alcantarillado por medio de las descargas

de las instalaciones hidráulicas de la edificación y también en residuos orgánicos en establecimientos comerciales, públicos y similares.

- **Industriales.-** Son residuos líquidos generados en los procesos industriales. Poseen características específicas, dependiendo del tipo de industria.
- **Infiltración y caudal adicionales.-** Las aguas de infiltración penetran en el sistema de alcantarillado a través de: los empalmes de las tuberías, paredes de la tuberías defectuosas, tuberías de inspección y limpieza, cajas de paso, estructuras de los pozos de registro, estaciones de bombeo, etc. Hay también aguas pluviales que son descargadas por medio de varias fuentes, como: canales, drenajes y colectores de aguas de lluvia.
- **Pluviales.-** Son agua de lluvia, que descargan grandes cantidades de agua sobre el suelo. Parte de esta agua es drenada y otra escurre por la superficie, arrastrando arena tierra, hojas y otros residuos que puedan estar sobre el suelo (Rölim, 2000).

2.2. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

2.2.1. Tratamiento preliminar.

a. Sistema de rejas.

Son dispositivos formados por barras metálicas, paralelas, del mismo espesor e igualmente espaciadas. Se destinan a la remoción de sólidos gruesos en suspensión, así como de cuerpos flotantes, como estopa, papel, paño, madera y plástico. Tiene la finalidad de:

- Proteger los dispositivos de transporte de las aguas residuales contra obstrucción, especialmente de bombas, registros, tuberías, piezas especiales, etc.
- Proteger los equipos de tratamiento, y del aspecto estético de los cuerpos receptores cuando las aguas residuales se alejan por simple dilución.

El espaciamiento útil entre las barras se escoge en función al tipo de material que se quiere retener y de los equipos a proteger. Pueden clasificarse así:

- Rejillas gruesas: se instalan aguas arriba de las bombas de grandes dimensiones, turbinas, etc. y casi siempre preceden rejillas comunes.
- Rejillas medias: con menor espacio entre las barras (por lo general 25 mm); se usan comúnmente en plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Rejillas finas: se emplean cuando están bien determinadas las características del agua a tratar (Rollm, 2000).

b. Los desarenadores. Son unidades destinadas a retener arena y otros residuos minerales inertes y pesados que se encuentran en las aguas residuales (escombros, partículas de metal, carbón, etc.). Estos materiales provienen del lavado, inundaciones, infiltraciones de aguas residuales de las industrias, etc. Son tanques de sedimentación diseñados para remover materia no putrescible que puede causar abrasión en canales o bombas, y ocasionar su obstrucción. La materia removida, como no es biodegradable, debe recolectarse y disponerse en un área adecuada para el relleno (Rollm, 2000).

2.2.2. Tratamiento primario

Con este nombre se designa a los procesos cuya finalidad es la remoción de sólidos suspendidos y puede ser por: sedimentación o flotación. De estos procesos, el más utilizado y que mejor se ajusta a las características de las aguas residuales es la sedimentación. Las unidades o dispositivos de tratamiento que utilizan el proceso de sedimentación son:

- Tanques sépticos.
- Tanques Imhoff.
- Sedimentadores simples o primarios.

Un tanque Imhoff es una unidad de tratamiento primario de dos niveles, conocido también como tanque de doble acción, los tanques Imhoff son utilizados como

tanque de sedimentación y de digestión, sirven principalmente para la separación de sólidos suspendidos mediante sedimentación convirtiéndose en lodos y mediante flotación convirtiéndose en natas. Un tanque Imhoff se divide en:

- Cámara de sedimentación.- La cámara de sedimentación se encuentra situada en la parte superior del tanque, es el compartimiento al que ingresan las aguas a tratar, la cámara de sedimentación tiene en el fondo dos lozas convergentes con una inclinación de 60° respecto a la horizontal, en el fondo tiene una ranura y un solape de las lozas inclinadas gracias a esta disposición geométrica se evita que los gases producidos en la digestión, al seguir un camino ascendente, perturben la sedimentación de los sólidos.
- Zona neutra.- Se llama zona neutra al espacio comprendido entre la cámara de sedimentación que ayudan a evitar que las espumas o natas pasen de la cámara de digestión a la de sedimentación debido a la acción de los gases.
- Cámara de digestión.- En esta cámara se encuentra en la parte inferior del tanque Imhoff, puede estar formada en su fondo por dos o más tolvas que faciliten el drenado de los lodos, estos serán removidos mediante un tubo utilizando la carga hidrostática.
- Cámara de natas.- También llamada respiradero o cámara de espumas, es la cámara por lo que son expulsados hacia la atmósfera los gases que se forman en la cámara de digestión por el proceso anaerobio que experimentan los sólidos sedimentables (Díaz y Bellot, 1995).

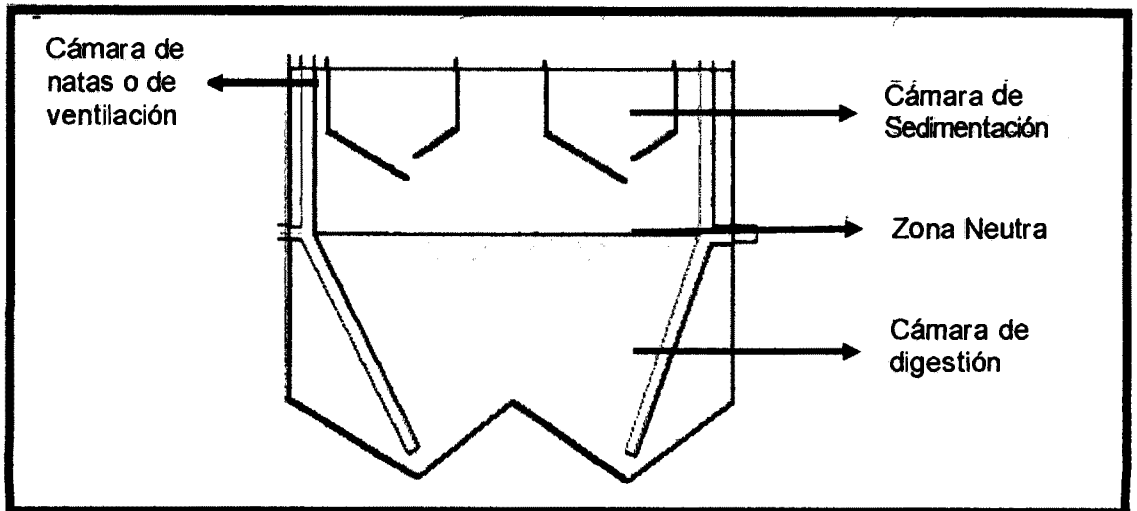


Figura N° 1: Representación esquemática de las partes de un Tanque Imhoff.

Fuente: Díaz y Bellot, 1995.

2.2.3. Tratamiento secundario.

El filtro percolador. Consiste en un lecho formado por un medio sumamente permeable al que se adhieren los microorganismos a través del cual percola el agua residual, fenómeno del que recibe el nombre el proceso. El medio filtrante suele estar formado por piedras o diferentes materiales plásticos de relleno. Los filtros incluyen un sistema de drenaje inferior para recoger el líquido tratado y los sólidos biológicos que se haya separado del medio. El líquido recogido pasa a un tanque de sedimentación en el que se pasan los sólidos del agua residual (Tchobanoglous y Burton, 1995).

La biomasa dispuesta sobre el material de contacto crece en función de la oferta de substrato, por lo tanto, el espesor de la biopelícula crece más rápidamente en la zona superior y más lentamente en la inferior. Dado que el volumen de poros existente entre las partículas del material de relleno no puede incrementarse, se puede producir un taponamiento de los mismos impidiendo de esta manera la libre circulación de agua y de aire e interrumpir de esta manera el proceso. Para evitar este fenómeno el equipo aspensor (rociador) rotativo considerado en el

diseño está en la capacidad de entregar la cantidad de agua necesaria de manera de abastecer con el sustrato necesario a los organismos y permitir el arrastre de la biopelícula en exceso (Tchobanoglous y Burton, 1995).

2.2.4. Lagunas facultativas. Son variantes más simples de los sistemas de lagunas de estabilización. Básicamente el proceso consiste en la retención de aguas residuales por un período de tiempo largo o suficiente como para que los procesos naturales de estabilización de la materia orgánica se lleven a cabo. Las principales ventajas o desventajas, están asociadas a los fenómenos naturales (Vón, 1996).

Una laguna facultativa combina la actividad aerobia y la anaerobia en la misma unidad. Los fitoflagelados y las algas que están en las lagunas utilizan las sales inorgánicas y el dióxido de carbono que resultan de la descomposición bacteriana de la materia orgánica. El oxígeno producido por la fotosíntesis, que puede alcanzar niveles de oxígeno disuelto de 15 a 30 mg/L en las postrimerías de la tarde, está presente en la actividad bacteriológica aerobia, aunque el nivel de oxígeno disuelto desciende durante la noche y puede llegar a cero si la laguna está sobrecargada (Tebbutt, 1997).

En la zona inferior anaerobia en la que se descomponen activamente los sólidos acumulados por acción de bacterias anaerobias comporta la producción de compuestos orgánicos disueltos y de gases como el CO₂, el H₂S y el CH₄, que se oxidan por las bacterias aerobias o se liberan a la atmósfera. Las lagunas facultativas, presentan también una zona intermedia, que es parcialmente aerobia y anaerobia, en la que la descomposición de los residuos orgánicos la llevan a cabo las bacterias facultativas (Tchobanoglous y Burton, 1995).

2.2.5. Lagunas de maduración. Posibilitan un pulimento del efluente de cualquiera de los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Son lagunas que

reciben una carga orgánica muy baja cuyo uso primario es como una etapa secundaria de tratamiento, posterior a una laguna facultativa o de otro tipo de unidad de tratamiento biológico. También en estas lagunas hay gran crecimiento de algas, pero su característica más importante es la alta remoción de bacterias patógenas que se logra debido a que el ambiente es desfavorable para estos microorganismos (Tebbutt, 1997).

2.3. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES “LA TOTORA”

Las aguas residuales provenientes de la ciudad de Huamanga deben ser tratadas necesariamente, para proteger la salud pública así como para conservar el medio ambiente. La planta de tratamiento de aguas residuales debe tener como propósito eliminar toda contaminación química y bacteriológica del agua que pueda ser nociva para los seres humanos, la flora y la fauna de manera que el efluente final sea dispuesta en el ambiente en forma segura. Así mismo, la planta de tratamiento de aguas residuales no debe producir olores ofensivos hacia la comunidad en el cual está inserto, para ello debe ser bien operada y remover la materia orgánica y los microorganismos patógenos presentes en ella. La planta de tratamiento de aguas residuales “La Totorá” se encuentra ubicada planimétricamente entre las siguientes coordenadas:

NORTE	585.654 E - 8 547.489 N
SUR	585.762 E - 8 546.611 N
ESTE	585.996 E - 8 547.037 N
OESTE	585.442 E - 8 547.220 N

Colinda hacia el norte con la carretera Ayacucho-Huanta, hacia el sur con el río Alameda, hacia el este con varias chacras donde las principales actividades económicas son la agricultura y ganadería, hacia el oeste con una zona poblada caracterizada por casas unifamiliares con huertos que están emplazadas a lo

largo del camino de acceso o sea directamente colindantes con la planta o al frente del mencionado camino (Consulting Engineers Salzgitter, 2002).

2.3.1.- Tratamiento preliminar.

Sistema de rejas. Conformado por rejas gruesas manuales y dos rejillas automáticas, que permiten remover el material grueso (piedras, plásticos, ramas, animales muertos, trapos, etc.) La concepción constructiva de tales rejas, ha previsto aguas arriba de las rejillas una forma trapezoidal en la parte inferior de las mismas por medio de cuñas de 25 cm de ancho y 50 cm de altura a manera de asegurar las velocidades requeridas. Para alcanzar una distribución proporcionada del afluente hacia las tres cámaras o canaletas, se cuenta con muros guía (pilas) en la entrada y salida de las mismas. Con el objeto de aislar cada una de las unidades, han sido provistas por compuertas deslizantes de canal con vástago no ascendente ubicadas al inicio y a la salida de las canaletas. En lo referente a los equipos de rejillas se han previsto 2 unidades de rejillas escalonadas de limpieza automática. Este tipo de rejillas se encuentra conformado por láminas o barras en forma de escalera de manera que unas láminas son fijas y otras móviles, formando parte éstas últimas de un conjunto móvil que se mueve por ciclos en dirección ascendente de manera que los sólidos se van depositando y transportando al siguiente escalón de forma sucesiva hasta alcanzar el punto más alto donde se produce el vertido hacia toivas ubicadas en la parte superior del transportador tipo tornillo sin eje para su conducción hacia el contenedor. El ciclo de trabajo se regula automáticamente según el nivel de agua frente a la rejilla. La determinación del nivel de agua ocurre mediante sondas. Alcanzado un valor preestablecido se pone en marcha el equipo iniciando así un ciclo de limpieza (Consulting Engineers Salzgitter, 2002).

Desarenadores. Conformado por dos unidades alargadas, que remueven el material sólido (arena) los mismos que se descargan al lecho de arena. La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "La Totorá" cuenta con desarenadores rectos de flujo horizontal, sin aireación, con un sistema de limpieza hidráulico. Consta de tres cámaras de 1,20 m de ancho cada una con una profundidad de canal de 2,50 m y una longitud efectiva de 30 m (Consulting Engineers Salzgitter, 2002).

Medidor de caudal. Un medidor tipo Khafagi de registro continuo y automático que mide el caudal de ingreso de aguas servidas a la planta (EPSASA, 2010).

2.3.2.- Tratamiento primario.

Tanques Imhoff. La planta de tratamiento de aguas servidas "La Totorá" constituido por seis (06) unidades que permiten separar el material sedimentable del agua servida, cuyos lodos estabilizados son descargados a los lechos de secado. Los efluentes se distribuyen: 17% a las lagunas facultativas y 83% a los filtros percoladores. Los tanques Imhoff 3, 4, 5 y 6 tienen un área en planta de 30,50 x 17,80 m de dimensiones internas a los que se adicionan el área de 30,10 x 12 m de dimensiones internas de los 2 tanques Imhoff 1 y 2. El período de retención nominal recomendado se encuentra en el rango de 1 a 2,5 h. Acorde al período de retención se produce una mayor o menor remoción de la carga orgánica. Como una acotación adicional se señala que el período de retención ha sido calculado en función del caudal horario, en realidad el cálculo debería referirse al caudal medio diario con lo que los períodos de retención para los tanques existentes ascenderían a 1,2 h y en los nuevos a 1,8 h, obteniéndose un tiempo de retención ponderado mayor a 1,6 h y por tanto una mayor remoción. En lo referente a los coliformes fecales o termotolerantes, se acepta para

tanques Imhoff una remoción del 60% y en lo que respecta a la remoción DBO_5 de un 25% (Consulting Engineers Salzgitter, 2002).

2.3.3.- Tratamiento secundario.

El tratamiento secundario, se encuentra compuesto por 4 filtros percoladores, 2 lagunas facultativas y 3 lagunas de maduración. La sedimentación secundaria ocurre en las lagunas de sedimentación integradas (4 sedimentadores), las cuales tratan el efluente final de los filtros percoladores. Finalmente a objeto de mejorar la calidad microbiológica de los efluentes tratados la planta consta de 3 lagunas de pulimento (maduración). El efluente es entregado al cauce natural del río Alameda por medio de una estructura disipadora y un canal trapezoidal ancho, revestido de roca.

Filtros Percoladores. Son cuatro (04) estructuras circulares, rellenas de piedras tipo pómez de origen volcánico, que permiten reducir la materia orgánica (DBO) por acción de las bacterias aeróbicas. La alimentación hidráulica a los filtros percoladores se da por medio de rociadores rotativos de 4 brazos, cada filtro tiene 32 metros de diámetro, una altura de 4,5 m de lecho filtrante haciendo una altura total de 7 metros. El lecho filtrante tiene 4 zonas o capas. La inferior con una altura de 30 cm está conformada por granulometrías comprendidas entre 100 y 150 mm. La capa suprayacente con una altura de 30 cm está conformada por granulometrías comprendidas entre 80 y 100 mm. La capa suprayacente inmediata tiene una profundidad de 3,50 m y está conformada por granulometrías comprendidas entre 40 y 80 mm. La capa superior y en una altura de 40 cm está conformada por granulometrías comprendidas entre 60 y 80 mm. No se empleó bajo ningún concepto un tamaño de partícula menor a 40 mm. El proceso de sedimentación secundaria tiene lugar en cuatro pequeñas lagunas que para estos efectos han sido designadas como sedimentadores

integrados, por el hecho de estar físicamente adosados a las lagunas de maduración. La topografía accidentada de la planta y los requerimientos de taludes no han permitido obtener dimensiones iguales para los sedimentadores. En promedio se puede decir que los sedimentadores presentan un área neta a nivel de espejo de agua de 1,325 m²; un área neta en el fondo (tomando en cuenta rampas de acceso, estructuras, etc.) de 415 m². La altura promedio de agua 2,90 m de los cuales máximo entre 0,90 a 1,00 m se ha considerado como altura disponible de volumen muerto para el almacenamiento de lodos y proceso de digestión (Consulting Engineers Salzgitter, 2002).

Sistema de lagunas.

El sistema lagunar está compuesto por lagunas tipo facultativo (existentes) y lagunas de maduración o pulimento. Las lagunas son en esencia estanques diseñados para el tratamiento de aguas servidas mediante procesos biológicos naturales de interacción de la biomasa y la materia orgánica contenida en las aguas servidas, tiene como objetivo acumular lodos biológicos y digerirlos anaeróticamente en el fondo, así como de presentar las condiciones adecuadas para el mantenimiento del proceso de fotosíntesis con algas unicelulares por medio de un adecuado balance de oxígeno en los estratos superiores de la laguna (Consulting Engineers Salzgitter, 2002).

Lagunas facultativas. La planta de tratamiento de aguas residuales "La Totora" cuenta con dos unidades alargadas que remueven parte de la carga orgánica y coliformes (EPSASA, 2010).

Lagunas de maduración. El sistema de lagunas está compuesto por 3 lagunas de maduración o pulimento que se vestirán al río Alameda. Las lagunas son en esencia estanques diseñados para el tratamiento de aguas servidas mediante procesos biológicos naturales de interacción de la biomasa y la materia orgánica

contenida en las aguas servidas. Las lagunas facultativas 1 y 2 son alimentadas con parte del efluente del tanque Imhoff 6, aproximadamente un 33%. La laguna de maduración 1, es alimentada por el efluente de los sedimentadores 1 y 2. La laguna de maduración 2, es alimentada por el efluente de los sedimentadores 3 y 4. La laguna de maduración 3, es alimentada por los efluentes de las lagunas facultativas 1 y 2 como también de las lagunas de maduración 1 y 2. Las dimensiones finales del sistema de laguna se indican a continuación:

Tabla N° 1: Dimensiones de las lagunas existentes en la Planta de Tratamiento de aguas Residuales "La Totorá"

LAGUNA	Fondo Área (m ²)	Longitud L (m)	Ancho W(m)	Volumen V (m ³)
Laguna facultativa 1	1593	344	56	35100
Laguna facultativa 2	1333	341	49	29700
Laguna de maduración 1	1028	269	50	24000
Laguna de maduración 2	14583	262	66	32000
Laguna de maduración 3	15081	253	70	32600

Fuente: Consulting Engineers Salzgitter, 2002.

Lechos de secado. Dispositivos que eliminan una cantidad de agua suficiente de los lodos para que el resto pueda manejarse como material sólido. La planta de tratamiento de aguas residuales "La Totorá" cuenta con doce (12) unidades con material filtrante, para la deshidratación de lodos provenientes de los tanques Imhoff, que una vez seco el lodo, es retirado de forma manual con palas y carretillas (Consulting Engineers Salzgitter, 2002).

2.4. BIOSÓLIDOS.

Son principalmente materiales orgánicos producidos durante el tratamiento de aguas residuales, los cuales pueden ser utilizados en diversos usos

beneficiosos. Un ejemplo de tal uso es la incorporación de biosólidos al terreno para abastecerlo de nutrientes y para renovar la materia orgánica del terreno. Los biosólidos se pueden utilizar en terrenos agrícolas, bosques, campos de pastoreo o en terrenos alterados que necesitan recuperación. Estos mejoran las características del suelo, tales como; la textura y la capacidad de absorción de agua, las cuales brindan condiciones más favorables para el crecimiento de las raíces e incrementan la tolerancia de la vegetación a la sequía. La aplicación de biosólidos también proveen nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal, incluyendo el nitrógeno y el fósforo, así como algunos micronutrientes esenciales, tales como el níquel, el zinc y el cobre. Los biosólidos pueden servir también como una alternativa o sustituto de los costosos fertilizantes químicos. Los nutrientes contenidos en los biosólidos ofrecen diversas ventajas en comparación con los fertilizantes inorgánicos debido a que son orgánicos y pueden ser incorporados lentamente por las plantas en crecimiento. Estas formas orgánicas de nutrientes son menos solubles en agua y, por lo tanto, tienen una menor probabilidad de lixiviarse al agua subterránea o ser arrastradas a las aguas superficiales (EPA-832, 2000).

Los biosólidos son un subproducto de lodos generados durante el tratamiento de aguas residuales. Se producen durante etapas en donde ciertos microorganismos descomponen y transforman los lodos residuales, seguido por un proceso de estabilización biológica, física o química. Los biosólidos son materiales semisólidos, de color oscuro, con alto contenido de materia orgánica y nutriente. Sin embargo, también pueden contener altos niveles de microorganismos patógenos y/o metales pesados (como plomo, cadmio, cromo etc.) que pueden causar problemas de salud. Los biosólidos pueden ser de tipo aeróbico cuando se realiza un tratamiento de digestión con bacterias o de tipo

anaeróbico, que aunque costoso, es más eficaz para disminuir la cantidad de patógenos (Pesinova, 2008).

Los biosólidos se definen, como el material originado en la transformación de lodos orgánicos a través de tratamientos que reducen su nivel de patogenicidad, su poder de fermentación, su capacidad de atracción de vectores y buscan otorgarles aptitud para una utilización posterior en el campo agrícola o en la recuperación de áreas degradadas. La calidad de los biosólidos depende fundamentalmente de tres grupos de contaminantes; metales, contaminantes orgánicos y agentes patógenos (García, 2006).

2.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS BIOSÓLIDOS.

Jurado y col., (2004), mencionan que los biosólidos contienen alto porcentaje de humedad, materia orgánica y nutrimentos para las plantas como N y P; sin embargo, su composición varía diario y de manera estacional, aún dentro de una misma planta de tratamiento.

Dáguer (2003), con respecto a las características químicas, resalta que las concentraciones de la totalidad de los metales analizados (arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel y plomo) en los biosólidos en Colombia se mantienen por debajo de los límites máximos permitidos por las principales regulaciones internacionales y en la mayoría de parámetros por debajo de las concentraciones promedio de metales pesados de los biosólidos de EEUU y la Unión Europea. Con respecto a las características agrológicas, los biosólidos de Colombia presentan concentraciones típicas de nitrógeno y fósforo (nitrógeno total 1,6 – 3,3 %, nitrógeno orgánico 0,44 – 1,9 %, nitrógeno amoniacal 0,6 – 2,3 %, fósforo 0,04 – 3,3 %, potasio 0,007 % - 0,4 % y pH de 6,05 – 7,9), que muestran su alto potencial de aprovechamiento en actividades agrícolas y no agrícolas (recuperación de suelos, actividades forestales, cobertura de rellenos).

Con respecto a las características microbiológicas, las concentraciones de coliformes fecales de los biosólidos de la mayoría de las PTAR de Colombia son típicas de un biosólido de Clase B; sin embargo, con respecto a los huevos de helminto, los biosólidos de las PTAR San Fernando y el Salitre tienen características de clase A. En Colombia no se dispone de leyes, reglamentos o normas sobre la gestión de biosólidos; a la fecha, el Ministerio del Ambiente y Desarrollo Territorial estudia un borrador de norma presentado en marzo de 2003 por los operadores (BAS, EMCALI y EEPPM) de las 3 plantas más grandes del país. La propuesta ha sido elaborada cuidadosamente, tanto desde el punto de vista técnico como jurídico, por un equipo interdisciplinario de especialistas, teniendo en cuenta las referencias obligadas de las reglamentaciones de Estados Unidos (norma EPA) y de la Unión Europea.

2.6. CLASIFICACIÓN DE LOS BIOSÓLIDOS.

La norma EPA (2003) clasifica los biosólidos en:

Biosólidos Clase A. Suelen llamarse de calidad excepcional. Presentan una densidad de coliformes fecales inferior a 1000 NMP por gramo de sólidos totales o la densidad de *Salmonella sp.* es inferior a 3 NMP por 4 gramos de sólidos totales. La densidad de virus entéricos debe ser menor o igual a 1 UFP por 4 gramos de sólidos totales y los huevos viables de helmintos inferiores a 1 por 4 gramos de sólidos totales. Un biosólido con estos niveles que además tenga tratamiento para reducir vectores, no tendrá restricciones en su aplicación agraria y sólo será necesario solicitar permisos para garantizar que estas normas hayan sido cumplidas.

Biosólido Clase B. Con una densidad de coliformes fecales inferior a 2×10^6 NMP por gramo de sólidos totales ó 2×10^6 UFC por gramo de sólidos totales. Este tipo de biosólidos deberá recibir tratamiento y será el que mayores restricciones presente para uso agrícola. Además, la citada regla que rige el uso

y eliminación de biosólidos establece límites cuantitativos relativos al contenido de metales presentes en ellos, normas de reducción de agentes patógenos, restricciones a los sitios de aplicación, condicionantes y supervisión de recolección de cultivos tratados, mantenimiento de registros y requerimientos de presentación de informes sobre biosólidos aplicados a la tierra, así como disposiciones similares para los que se desechan en rellenos sanitarios. Los biosólidos que se incineran tienen que satisfacer las normas relativas al contenido de metales y las disposiciones sobre emisiones que liberan al medio ambiente, incluidas las disposiciones de la Leyes de Aire Limpio (Vélez, 2007).

2.7. BIOSÓLIDOS PRIMARIOS.

Son lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas Residuales después de un tratamiento primario como los sistemas Imhoff, que al ser sometidos a procesos de estabilización o deshidratación en los lechos de secado son llamados biosólidos primarios los cuales pueden ser susceptibles de aprovecharse para la agricultura, recuperación de suelos, rellenos sanitarios, compostaje, etc. La EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América), consciente de la importancia de regular el uso de los lodos generados en las PTAR (plantas de tratamiento de aguas residuales), desarrolló la Norma 40 CRF-part 503, la cual establece los requerimientos para uso y disposición de los lodos residuales. Los biosólidos se caracterizan a partir de sus condiciones físicas, químicas, metales pesados, característica de lixiviación y microbiológicas (García, 2006).

GENERACIÓN DE BIOSÓLIDOS PRIMARIOS.

La generación de los biosólidos se origina después de un proceso de estabilización de lodos orgánicos provenientes del tratamiento primario de las aguas residuales. La estabilización o deshidratación se realiza para reducir su

nivel de patogenicidad, su poder de fermentación y su capacidad de atracción de vectores. Gracias a este proceso, el biosólido tiene aptitud para utilización agrícola y forestal, y para la recuperación de suelos degradados (Vaca y col., 2005).

El tratamiento de las aguas residuales domésticas genera subproductos como los lodos, que requieren de tratamiento para ser convertidos en biosólidos. Estos materiales deben ser caracterizados para su aprovechamiento en actividades agrícolas y no agrícolas, como recuperación de suelos, actividades forestales y cobertura de rellenos sanitarios cuando el lodo ha sido tratado y reúne los estándares para ser aplicado al terreno, es cuando se le conoce como biosólidos (Dágner, 2003b).

La generación de los biosólidos primarios es un proceso que involucra etapas en donde ciertos microorganismos descomponen y transforman los lodos residuales (Koenig y col., 1998). Los biosólidos son materiales orgánicos ricos en nutrimentos, derivados del tratamiento de las aguas negras residuales, los que deberán ser estabilizados mediante un proceso biológico, físico o químico y cumplir con un estricto criterio de calidad para que puedan ser aplicados en suelos agrícolas. El término biosólidos proviene del método más común que se utiliza para su obtención, el cual consiste en el procesamiento biológico (digestión aeróbica y anaeróbica) de los sólidos de las aguas negras o residuales (Uribe y Chávez, 2000). Los biosólidos son una fuente de nutrimentos para los cultivos, muy parecidos al estiércol animal; sin embargo, al igual que éstos, pueden contener altos niveles de metales pesados y/o patógenos que pueden causar problemas de salud. Las instituciones reguladoras (SEMARNAT en México y U.S. EPA en USA) se encargan de monitorear y dictaminar si estos materiales están dentro de los límites permisibles para ser utilizados con fines benéficos, así minimizar los riesgos de salud y ambiental. Una forma de reciclar

benéficamente los biosólidos es su utilización en la agricultura, lo que permite reducir el uso de fertilizantes químicos comerciales, ofrecer la oportunidad de proveer nitrógeno a bajo costo para los cultivos y también suministrar otros nutrimentos a los suelos calcáreos del desierto como: fósforo, hierro, zinc y cobre disponibles para la planta (Fresquez y col., 1990).

Los biosólidos se obtienen por medio de tratamientos de los líquidos cloacales, los cuales difieren entre sí en función del grado de estabilización del producto final. Dichos tratamientos pueden ser primarios (sin digestión), basado en procedimientos de separación física, secundarios (con digestión), que comprende procedimientos físicos y biológicos, en los cuales se reduce la presencia de patógenos y parásitos así como contenido de compuestos carbonados lábiles en los biosólidos, linealmente terciarios, en los cuales se suman tratamientos químicos. Dentro de las alternativas disponibles para la disposición final de los biosólidos se destaca el reciclaje del residuo (Lavado y Taboada, 2002)

2.8. USOS DE LOS BIOSÓLIDOS.

El aprovechamiento de los biosólidos, se establece en función del tipo y clase, como se especifica en la siguiente tabla y su contenido de humedad hasta el 85%. Lo establece la 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.

TABLA N° 02. Aprovechamiento de biosólidos.

Tipo	Clase	Aprovechamiento
EXCELENTE	A	<ul style="list-style-type: none"> - Usos Urbanos con contacto público directo durante su aplicación. - Los establecido para clase B y C
EXCELENTE O BUENO	B	<ul style="list-style-type: none"> - Usos Urbanos sin contacto público directo durante su aplicación. - Los establecidos para clase C
EXCELENTE O BUENO	C	<ul style="list-style-type: none"> - Usos Forestales - Mejoramiento de suelos. - Usos agrícolas

Fuente: Luiselli, 2003.

El aprovechamiento de los biosólidos es una práctica establecida y aceptada en muchos países del mundo. Por ejemplo, en EE.UU., en los estados de California y Arizona, se utiliza en tierras agrícolas 52% y 86% de los biosólidos producidos. En la Comunidad Europea, más de una tercera parte de los biosólidos producidos es reciclada en la agricultura. También en México, investigaciones recientes reportan beneficios del uso de biosólidos como fertilizante en cultivos como maíz forrajero, la coliflor, y alfalfa. Pero para su aprovechamiento, los biosólidos deben ser declarados "no peligrosos" para el ambiente, en base al análisis CRETIB (corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y biológico-infeccioso) de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) de la SEMARNAT. La Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002-Protección (Luiselli, 2003).

VENTAJAS DE LA APLICACIÓN DE LOS BIOSÓLIDOS AL SUELO.

Los nutrientes contenidos en los biosólidos ofrecen diversas ventajas en comparación con los fertilizantes inorgánicos debido a que son orgánicos y pueden ser incorporados lentamente por las plantas en crecimiento. Estas formas orgánicas de nutrientes son menos solubles en agua, por lo tanto, tienen una menor probabilidad de lixiviarse al agua subterránea o ser arrastradas a las aguas superficiales, ya que las aguas residuales tratadas y el lodo son derivados de los alimentos que comemos, contienen nutrientes importantes tales como: nitrógeno, fósforo y potasio así como nutrientes menores tales como: cobre, manganeso y zinc. Estos nutrientes son esenciales para el crecimiento de las plantas. Diferentes cultivos y condiciones del suelo requieren diferentes cantidades de estos nutrientes, por lo tanto los nutrientes son aplicados en proporción a la necesidad de las plantas. El exceso de nutrientes puede crear un impacto negativo en las aguas del subsuelo. Los biosólidos también mejoran la estructura del suelo incorporando materia orgánica, aumentando la capacidad de los suelos para absorber y mantener la humedad, y reducir la erosión del suelo. Pueden ayudar a establecer una buena vegetación en el suelo como control de la erosión y proyectos de reclamación de tierras (Tamariz, 2007).

DESVENTAJAS DE LA APLICACIÓN DE LOS BIOSÓLIDOS AL SUELO.

Sin embargo, una desventaja del uso de biosólidos en la agricultura es la elevación de los contenidos de metales que tienen los suelos, así como la conductividad eléctrica. A través del proyecto de investigación "Efecto de los biosólidos sobre las propiedades de los suelos" se ha medido cómo crecen los niveles de diversos metales. Así, se ha obtenido que prácticamente todos los metales como: plomo, cadmio, cromo, cobalto, níquel, hierro, zinc y magnesio, que contienen en condiciones naturales los suelos, crecen hasta en 300 por

ciento, lo cual resulta una variante negativa en el uso de biosólidos en la agricultura. Al respecto, Tamariz Flores (investigador Mexicano) explica que si bien es una desventaja en el uso de este residuo en la agricultura, el incremento de los metales mencionados se encuentra aún en los límites máximos permitidos por la Norma Oficial Mexicana, por lo que debe ser evaluado y controlado periódicamente. Añade que en cumplimiento con la normatividad mexicana, los biosólidos deben ser caracterizados física y químicamente antes de ser aplicados para corroborar que estén libres de elementos corrosivos, infecto contagiosos o de algunos parásitos dañinos para el organismo humano. Es importante, insiste finalmente el investigador, ponderar que los biosólidos son residuos dotados de materia orgánica y nutrientes para los suelos, como nitrógeno, fósforo y potasio, por lo que sólo deben ser observados y controlados en el uso agrícola para garantizar su efectividad en el incremento de los rendimientos de la cosechas, así como en la recuperación de suelos erosionados (Tamariz, 2007).

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO DE BIOSÓLIDOS.

En el mundo se da importancia al aprovechamiento benéfico de biosólidos. La disposición o la incineración deben ser las últimas opciones a contemplar. Sin embargo, en algunos países o zonas se convierte en la única posibilidad ante la ausencia de terrenos para el aprovechamiento. La gestión de biosólidos debe contemplar la mayor cantidad de opciones de aprovechamiento en caso de que el lugar de recepción se colme o no requiera más material. Las alternativas de aprovechamiento de biosólidos son las siguientes:

- Agrícola y pecuario
- Silvicultura (plantaciones forestales, viveros)
- Recuperación de suelos degradados

- Adecuación de zonas verdes (separadores viales, parques)
- Elaboración de abonos y enmiendas
- Cobertura intermedia o final de rellenos sanitarios
- Bioremediación de suelos contaminados
- Elaboración de materiales de construcción

Las opciones de disposición son:

- Codisposición (disposición conjunta con residuos sólidos urbanos en rellenos sanitarios)
- Monodisposición (rellenos exclusivos para la disposición de biosólidos)
- Incineración (más que una disposición en sí misma, es una opción de tratamiento y reducción de volumen que deja un volumen de cenizas que es necesario disponer) (Dáguer, 2003a).

IMPACTOS AMBIENTALES DE LOS BIOSÓLIDOS.

A pesar de tener diversos efectos positivos en el ambiente, la aplicación al terreno puede tener impactos negativos en el agua, el suelo y el aire si dicha aplicación no se realiza correctamente. Los impactos negativos en el agua resultan por la aplicación de biosólidos utilizando tasas que exceden los requerimientos nutritivos de la vegetación. El exceso de nutrientes en los biosólidos (principalmente los compuestos de nitrógeno) pueden lixiviarse del suelo y llegar al agua subterránea. La escorrentía pluvial puede también transportar un exceso de nutrientes al agua superficial. Sin embargo, debido a que los biosólidos son un fertilizante de liberación lenta, la probabilidad de que los compuestos de nitrógeno sean lixiviados de suelos mejorados con biosólidos, es menor a la del uso de fertilizantes químicos (EPA-832, 2000).

En las áreas fertilizadas por medio de biosólidos o de productos químicos, la probabilidad de estos impactos es mitigada mediante prácticas de manejo

apropiadas, las cuales incluyen la aplicación de biosólidos utilizando tasas agronómicas (las tasas a las cuales los nutrientes son utilizados por la vegetación) (EPA-832, 2000).

El mantenimiento de zonas de separación entre las áreas de aplicación y los cuerpos de agua superficiales, y las prácticas de conservación del suelo minimizan los impactos en el agua superficial. Los impactos negativos al suelo pueden resultar del mal manejo de la aplicación de biosólidos al terreno. Las normas federales contienen estándares relacionados con los metales de interés y la aplicación de biosólidos al terreno, y de cumplirse con dichos estándares se evita la acumulación de metales a niveles dañinos. Los requisitos estrictos referentes al mantenimiento de expedientes e informes, tanto a nivel federal como estatal, han sido impuestos para prevenir el mal manejo de los biosólidos (EPA-832, 2000).

Los olores producidos por la aplicación de biosólidos representan el principal impacto negativo al aire. La mayoría de los olores asociados con la aplicación al terreno son una molestia más que una amenaza a la salud humana o al ambiente. Las actividades para el control de olores se centran en reducir la generación de olores de los biosólidos, o en incorporar los biosólidos al terreno. Los procesos de estabilización tales como la digestión pueden disminuir la generación de olores. Los biosólidos que han sido desinfectados a través de la adición de cal pueden emitir olores de amoníaco, pero esto generalmente sucede en un área restringida y los olores se disipan de una manera rápida. La estabilización de biosólidos reduce los olores y da lugar a una operación que es menos desagradable que la aplicación de estiércol. En general, es preferible el uso de un programa de aplicación de biosólidos al terreno manejado adecuadamente, al uso de fertilizantes convencionales por las siguientes razones:

- Los biosólidos son productos reciclados, cuya aplicación no reduce la cantidad de ningún recurso no renovable tal como el fósforo.
- Los nutrientes contenidos en los biosólidos no son tan solubles como aquellos en los fertilizantes químicos, y por lo tanto se liberan más lentamente.
- Se requiere que los aplicadores de biosólidos mantengan una separación adecuada con los recursos del agua, en la mayoría de los casos están sujetos a prácticas más rigurosas para la conservación y el control de la erosión del suelo, el manejo de los nutrientes, los requisitos de mantenimiento de expedientes e informe que en el caso de los agricultores que sólo utilizan fertilizantes químicos o estiércol.
- La aplicación de los biosólidos requiere un monitoreo detallado.
- La materia orgánica en los biosólidos mejora las características del terreno para el crecimiento óptimo de las plantas, incluyendo lo apropiado del cultivo, la friabilidad, la fertilidad y la capacidad de retención de agua. Además, los biosólidos disminuyen la necesidad del uso de pesticidas.

Una declaración conjunta del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, la Administración Alimentos y Drogas, y la Agencia de Protección Ambiental manifiesta que: "la aplicación de los biosólidos de alta calidad junto con los procedimientos de manejo adecuados, debe salvaguardar al consumidor de cosechas contaminadas y reducir al mínimo cualquier posible efecto adverso en el ambiente" (EPA-832, 2000).

2.9. NORMATIVIDAD Y CLASIFICACIÓN DE BIOSÓLIDOS.

Las regulaciones de biosólidos en el mundo tienen varias consideraciones. Por ejemplo, establecen límites y parámetros en las concentraciones de metales pesados. En EEUU y la UE existen normativas muy similares al respecto, las cuales han sido imitadas en muchos otros países. En España se tienen en

cuenta valores límite de metales pesados dependiendo del pH del suelo. Principalmente en Europa, se controla la tasa de aplicación (concentración de metales pesados por hectárea). EEUU recomienda calcular las tasas de aplicación teniendo en cuenta el contenido de nutrientes del biosólido y los requerimientos de los cultivos agrícolas. Adicionalmente, regula otros metales pesados como: arsénico, selenio y molibdeno. La mayoría de normativas regulan los mismos indicadores de contaminación fecal (coliformes fecales y huevos de helminto), y establecen la necesidad de tratamiento de los lodos (digestión anaeróbica, aeróbica, secado térmico, estabilización química, etc.) para que al ser convertidos en biosólidos puedan ser aplicados al suelo (Dáguer, 2003b).

Tabla Nº 03. Valores Máximos permisibles de microorganismos en biosólidos (U.S. EPA)

Parámetros Microbiológicos	U.S. EPA	
	Biosólidos Clase A (Menor de ...)	Biosólidos Clase B
Coliformes Fecales	1000 NMP/g ST	Menor de 2×10^6 NMP/g ST
<i>Salmonella ssp</i>	3 NMP/4 g ST	No Aplica
Huevos de Helmintos	1HH/4 g de ST	No Aplica
Virus entéricos	1/4 g ST	No Aplica

Fuente: Murillo y col., 2010.

2.10. ANTECEDENTES DE TRABAJO CON BIOSÓLIDOS:

Actualmente el uso de los biosólidos se hace cada vez más importante en la agricultura, en efecto en Colombia se ha realizado las siguientes investigaciones

con el fin de establecer la mayor cantidad de posibilidades de aprovechamiento de biosólidos provenientes de las diferentes plantas de aguas residuales:

- Aprovechamiento como cobertura final en el relleno sanitario.
- Compostaje de biosólidos
- Biorremediación de suelos contaminados
- Aprovechamiento forestal
- Recuperación de suelos degradados
- Aprovechamiento agrícola de biosólidos
- Revegetación de taludes.
- Lombricultura de biosólidos.
- Aprovechamiento forestal en viveros (Dágner, 2003).

Ramírez y Pérez (2006), en el trabajo titulado "Evaluación del potencial de los biosólidos procedentes del tratamiento de aguas residuales para uso agrícola y su efecto sobre el cultivo de rábano rojo (*Raphanus sativus*)", elaborado en la ciudad de Bogotá, con el propósito de evaluar el potencial del subproducto del tratamiento de aguas residuales "biosólido", para su aplicación en la agricultura por medio de la valoración del crecimiento, desarrollo y producción del cultivo de rábano rojo, y establecer una posible alternativa al problema de disposición final de 3900 toneladas de este material generado mensualmente en la planta de tratamiento de aguas. El diseño experimental empleado correspondió a bloques completos al azar, con cinco tratamientos y tres repeticiones, dispuesto en parcelas de 2 m x 2 m. Los tratamientos correspondieron a mezclas de biosólidos con suelo en las siguientes proporciones: 100 % biosólido (equivalente a 294 ton/ha), 75 % biosólido (220 ton/ha), 50 % biosólido (147 ton/ha), 25 % biosólido (73 ton/ha) y 100 % suelo como control. Se sembró rábano rojo *Raphanus sativus* L. Las variables evaluadas fueron porcentaje de

germinación, peso seco de hojas y raíz, longitud de la planta, área foliar y producción. Además, se midió la acumulación de elementos traza en los rábanos cosechados, para determinar su riesgo para el consumo. Los resultados evidenciaron que los tratamientos 50 % biosólido y 25 % biosólido, son los que favorecen el crecimiento, desarrollo y producción del cultivo de rábano, mientras que los tratamientos 75 % biosólido y 100% suelo presentaron un menor desarrollo, crecimiento y producción del cultivo. El tratamiento 100% biosólido provocó una baja germinación, además no presentó acumulación en la raíz, que es el producto cosechable. Los niveles de acumulación de metales pesados sobrepasaron los máximos permitidos con el tratamiento 75 % biosólido. Se evidenció como, la utilización del biosólido en la agricultura puede acarrear un gran riesgo, ya que a pesar de presentar una gran cantidad de nutrientes (C, N, P, K, Ca, Na, Fe y Zn) y materia orgánica, la presencia de metales pesados, o su inadecuada aplicación, puede ir en detrimento del crecimiento y producción de las plantas de rábano.

Lemainski y Eurípedes (2003), en su trabajo titulado "Evaluación agronómica y económica en la aplicación de biosólidos como fertilizantes en la producción de soja", realizado en Brasil, cuyo objetivo fue definir parámetros técnicos y económicos de biosólidos como fertilizante mineral para la soja. La respuesta de la soja a la aplicación de biosólidos húmedos fue, la dosis: 0; 7,5; 15; 30 y 45 mg/ha fue comparada la respuesta a los fertilizantes, aplicado en cantidades equivalentes de NPK, por dos años de cultivo. Se utilizó el diseño experimental de bloques al azar, con nueve tratamientos y tres repeticiones. Biosólidos y fertilizantes minerales sólo se aplicaron antes del primer cultivo. En dosis de 30 mg/ha de biosólido húmedos, la producción de 3,602 ha y 3,183 kg de grano en la primera y segunda cosechas, respectivamente, destacaron la inmediata y efecto residual del material, que también se observó en la dosis de 45 mg/ha. En

términos económicos, la mejor relación coste / beneficio (1,15) se obtuvo en la dosis de 30 mg/ha. La eficiencia agronómica de los tratamientos con biosólidos, en promedio, fue 18 % mayor que los tratamientos con fertilizantes minerales. Los resultados muestran el comportamiento agronómico y la viabilidad económica de la utilización de biosólidos para sustituir el abono mineral en la producción de soja.

Lavado y Taboada (2002), en Argentina informan sobre el experimento realizado en cultivos de: trigo, maíz, soja, girasol y en pasturas. En trigo se observó, que dosis del orden de 14 Tn MS de biosólido/ha causan reducciones en los rendimientos. Esto se atribuye a excesivo crecimiento vegetativo y consiguientes riesgos de desbalance hídrico y a problemas con componentes del rendimiento, como número y peso de granos. En lo que respecta a maíz, particularmente, el efecto de los biosólidos depende fuertemente de la ausencia de estrés hídrico. La soja, tanto de primera como de segunda, presentó respuestas en rendimiento variables, relacionadas no sólo con la aplicación de biosólidos y las condiciones climáticas, sino también con las características físicas y químicas de los suelos. Tampoco en este caso, la aplicación de biosólidos causó incrementos significativos en las concentraciones de macronutrientes y micronutrientes en el vegetal. En pasturas cultivadas y pastizales naturales, se encontraron casi siempre importantes respuestas a la aplicación de biosólidos al suelo. Se exceptúan pasturas naturales en suelos muy ricos en materia orgánica. También en estos casos las respuestas al agregado de biosólidos superó normalmente a los fertilizantes minerales. Otro importante parámetro productivo se refiere a los incrementos en las concentraciones de macro y micro elementos en el vegetal. Cuando los biosólidos se aplicaron en suelo, las pasturas no presentaron un techo productivo frente a dosis crecientes de éstos. En cambio, cuando se hizo la aplicación en pastizales naturales y pasturas ya implantadas, se observó una

reducción en los rendimientos asociada a la aplicación de dosis muy altas de biosólidos. Este fenómeno es atribuible a la cobertura del cultivo y la limitación de la fotosíntesis consecuente. En Eucalipto los parámetros de crecimiento (altura y diámetro) no sólo presentaron incrementos espectaculares, sino que evolucionaron muy favorablemente ante la aplicación de biosólidos a lo largo del tiempo. En pino la aplicación de biosólidos tuvo un efecto muy positivo, pero debido a los menores requerimientos de nutrientes de éstos, se observó un menor incremento en el volumen de madera. No se registraron limitaciones productivas frente a dosis crecientes de biosólidos. Los forestales surgen como un campo de aplicación de biosólidos muy interesante.

EPA, (2000). Informa que en EEUU, la producción de biosólidos a partir del tratamiento de aguas residuales no es nueva en el mundo. Una legislación. EPA, ente rector para Norteamérica en materia de lodos y biosólidos, calcula que las 16,000 plantas de tratamiento de aguas residuales en Estados Unidos generaron aproximadamente 7 millones de toneladas de biosólidos en el 2005. Alrededor de 60% de todos los biosólidos fueron usados de manera benéfica como fertilizante en las tierras de cultivo. Después del tratamiento, el 17% terminó enterrado en un relleno sanitario. El 20% se incineró y cerca de 3% fue relleno de tierra o cubierta de recuperación de minas. Sólo un pequeño porcentaje del total de la oferta de verduras se fertilizó con biosólidos. Para 1992, en los Estados Unidos la aplicación de biosólidos a tierras agrícolas era del 33%, y para 1998 se incrementó al 60 %.

Tamariz (2007), en México según investigaciones realizadas da a conocer que el empleo de biosólidos en la agricultura mejorará el rendimiento de cultivos como el maíz, frijol y hortalizas, pero una de las desventajas de su uso, es el incremento de metales en los suelos, situación que no rebasa las normas oficiales, aseguran investigadores en ciencias agrícolas del ICUAP. En esta investigación Tamariz

col, del DICA-ICUAP (Departamento de Investigaciones en Ciencias Agrícolas), quienes desarrollan los proyectos: "Efecto de los biosólidos sobre las propiedades de los suelos" y "Utilización de biosólidos para la recuperación de suelos degradados". Destacan que la aplicación de biosólidos en tierras cultivables se incrementó hasta en 30 por ciento los rendimientos de cultivos como el maíz, así como la cantidad de nutrientes en las superficies cultivables, lo que ha permitido la recuperación de suelos erosionados. Así mismo Tamariz (2007), sostiene que si hasta hace unos seis años se desconocía qué hacer con los lodos que generan las cinco plantas de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Puebla, denominados biosólidos, que alcanzan un volumen de cerca de 200 toneladas diarias hoy gracias a la experimentación científica existe un destino para éstos residuos que, bajo condiciones de control, son benéficos para la agricultura. Destaca la importancia de utilizar en la agricultura residuos como los biosólidos, en lugar de echarlos en los ríos o en barrancas, como contaminantes, éstos son aprovechados para elevar la productividad de cultivos agrícolas, o bien, para recuperar nutrientes perdidos en suelos erosionados. Los resultados referentes a, mejores rendimientos en maíz, frijol y hortalizas demuestran que en el primer proyecto de investigación, explica el doctor Tamariz Flores, se trata de conocer cómo se modifican las propiedades físicas y biológicas de los suelos por adición de biosólidos. Las principales propiedades que se evalúan son: pH, textura, estructura, densidad, capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica y contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio. Por otra parte, a través del segundo proyecto de investigación se documenta cómo el uso de biosólidos en la agricultura afecta el rendimiento de los cultivos. Tras cuatro ciclos agrícolas en los que se ha experimentado con la aplicación de biosólidos en tierras cultivables de la sierra norte de Puebla, así como en la Mixteca, se ha observado un incremento de 30 % en la producción

de maíz, de 25 % en frijol y 15 % en hortalizas, en comparación con suelos que no tienen biosólidos. Refiere, además, que con el uso de biosólidos se duplica la materia orgánica de los suelos, es decir, sus nutrientes; se mejora la humedad y la porosidad de los suelos haciéndolos más ricos para la agricultura.

García (2006), informa en estudios realizados en España sobre el desarrollo en el uso de biosólidos en el noroeste de España establecen que la utilización de biosólidos reducen los costos de abonamiento, en sectores tan importantes en la economía gallega como es la agricultura y la ganadería. Agroamb, una empresa creada en al amparo de las nuevas necesidades en la gestión de biosólidos y su valorización, centrándose fundamentalmente en los lodos de depuradora procedentes, pero también trabajando con todo material susceptible de un reciclaje seguro y con garantías en su valorización como fertilizante o enmienda orgánica. Se han desarrollado un banco de agricultores de 2,500 ha en Galicia, el cual es una base de datos de fincas de aproximadamente 220 explotaciones agro ganaderas, y a las cuales se realiza un asesoramiento y gestión integral para optimizar el uso de biosólidos en sus cultivos, siendo principalmente producciones de maíz forrajero y pasto. En la actualidad la empresa tiene varios proyectos de investigación en colaboración con diversas universidades gallegas y con empresas relacionadas del sector, entre otros:

- El estudio del empleo de bio-residuos en el cultivo rotacional de maíz y ray grass italiano, ejecutado en colaboración con la Universidad de Santiago de Compostela, concretamente con el Departamento de Producción Vegetal.
- El desarrollo de estrategias para la integración ambiental de mezclas de lodos de depuradoras, cenizas de combustión madereras y materiales tradicionales, ejecutado en colaboración con la Universidad Santiago de Compostela, concretamente con el Departamento de Edafología y Química Agrícola.

- El empleo de residuos en la elaboración de fertilizantes: valoración agronómica, ejecutado en colaboración con la Universidad de Santiago de Compostela, concretamente con el Departamento de Producción Vegetal.

Aller y col., (2004), en la investigación titulado "La aplicación de lodos en cebada mejora los rendimientos y resuelve el problema de los residuos", cuyo objeto de este ensayo fue estudiar el valor fertilizante de los biosólidos tratados térmicamente procedentes de una estación depuradora de aguas residuales urbanas de 500,000 habitantes equivalentes. Para ello se utilizaron cuatro parcelas de cebada. Una parcela se dejó como testigo, en dos de ellas se aplicaron lodos, (dosis 1 de 100 kg N/ha y dosis 2 de 200 kg N/ha), en otra se incorporaron 200 kg N/ha en forma de abono mineral simple. Los resultados obtenidos muestran que se alcanzaron los mayores rendimientos de producción en la parcela con mayor dosis de lodos (dosis 2), sin que ello supusiera un aumento de la concentración de metales pesados en los suelos y en las hojas de cebada de las parcelas que fueron tratadas con lodos. Los granos de cebada de la parcela con lodos mostraron un mayor contenido en proteína bruta.

2.11. ABONAMIENTO.

Una forma de mantener la fertilidad de la tierra es incorporándole abonos. Estos, sumados a una adecuada rotación y asociación de plantas, nos aseguran una producción continua. En la preparación de abonos en la agricultura actual no sólo se utiliza estiércol, sino que son muy numerosas las materias orgánicas que, solas o en mezcla con otras sustancias orgánicas o con NPK, se utilizan. Entre las materias orgánicas empleadas se cuentan: paja y otros restos de cultivo, estiércol de origen diverso, turbas, leonardita, compost, extractos de algas, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, proteínas hidrolizadas, aminoácidos de síntesis, diversos compuestos orgánicos (adenina, vitaminas, ácidos polihidroxilados, etc.), así como mezclas de muy diversos extractos. Entre las

funciones que la materia orgánica potencia, induce o, simplemente favorece, destacan: modifica positivamente la estructura del suelo, aumenta la capacidad de intercambio iónico, favorece la vida microbiana, estimula la fisiología de las plantas (Flores, 2001).

El abonamiento está relacionado a la aplicación de la materia orgánica el cual debe efectuarse junto con la preparación de suelos de tal manera que pueda descomponerse y estar disponible para el cultivo. Así mismo ésta facilitará la retención de humedad, mejorará la estructura del suelo, formando estructuras esferoidales, facilitará la aireación del suelo y favorecerá el desarrollo de la flora microbiana que permitirá la pronta humificación (Laquinua, 2008).

2.12. RENDIMIENTO.

La definición del rendimiento incluye procesos de desarrollo (es decir, la duración de este período no es constante en días, ya que resulta dependiente de la temperatura del aire) y de crecimiento (asociado al ritmo de crecimiento del cultivo en la misma). Aplicando el concepto de tiempo térmico (suma de la diferencia entre la temperatura media diaria y la temperatura base en el período considerado) (Otegui y Bonhomme, 1998).

En algunos casos, el rendimiento del cultivo aparece asociado al peso de los granos en condiciones de producción, aunque este componente tiende a explicar una proporción menor de la variabilidad observada en el rendimiento (Satorre, 2002).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación de la zona de estudio.

El proyecto de investigación se instaló en una chacra al sur de la ciudad de Ayacucho, en el distrito de Carmen Alto a una altitud de 2780 msnm. Siguiendo la carretera pavimentada hacia el Cuartel del Ejército Peruano de Quicapata. Colinda por el norte con la Plaza Mayor, por el sur con la Comunidad de Quicapata, por el este con el pueblo joven de Vista Alegre y por el oeste con una zona poblada caracterizadas por casas unifamiliares.

Obtención de semillas.

Las semillas de lechuga (*Lactuca sativa L.*) variedad Great Lakes de pureza 99%. Inert, 1%, Ger, 85 %, lote 393369 – 45 m, se obtuvieron de la tienda comercial Agrótech Jhafred, ubicado en la Av. Mariscal Cáceres número 342 - Ayacucho.

3.2. Preparación del almácigo.

El almácigo se realizó en una cama previamente acondicionada de 1 m de ancho por 2 m de largo, haciendo un área total de 2 m². Para ello se limpió con rastrillo el área retirando las piedras y otros materiales indeseables, dejando el área homogénea. Se procedió a realizar la apertura de surcos con la ayuda de un

carrizo a una profundidad aproximada de 5 cm y se ubicaron las semillas por surcos de manera homogénea, utilizando 10 g de semilla. Finalmente se realizó el tapado de los surcos con la ayuda del carrizo. El almacigo se tapó con un techo de carrizos y hojarasca para evitar el contacto directo con los rayos del sol y/o lluvias. El riego se realizó por inundación dos veces por semana, o según fuera necesario, dependiendo del factor climático, también se hizo labores de deshierbo y otros, hasta que las plántulas tuvieron las características deseadas para el trasplante en terreno definitivo.

3.3. Preparación de terreno y fertilización.

La preparación del terreno se realizó con el uso del "zapapico", a una profundidad de 25 cm, luego se hizo el mullido empleando el mismo "zapapico" hasta que el terreno no presentó terrones grandes. Finalmente se realizó la nivelación del terreno con la ayuda de un rastrillo limpiando las piedras y materiales indeseables.

La fertilización una vez delimitado y preparado las unidades experimentales se procedió al abonamiento por extensión con los biosólidos, realizando el mezclado con la tierra hasta por dos a tres veces con la finalidad de homogenizar el terreno antes de trasplantar las plántulas de lechuga al terreno definitivo. Previamente se realizó la trituración, tamizado y pesado de biosólidos para luego ser transportados en bolsas debidamente rotulados a cada unidad experimental aplicando los cuatro niveles de biosólidos en el terreno, siendo para el tratamiento 1 (testigo) con 0,0 kg/parcela de biosólidos), tratamiento 2 con 5 TM/ha (5,6 kg/parcela), tratamiento 3 con 10 TM/ha (11,2 kg/parcela), tratamiento 4 con 15 TM/ha (16,8 kg/parcela) y tratamiento 5 de 20 TM/ha (22,4 kg/parcela).

Siembra y distancia.

Se sembró en el almácigo previamente preparado (1 m de ancho por 2 m de largo), luego de haber transcurrido 57 días, las plántulas fueron trasplantadas en terreno definitivo, cuando tuvieron 5 a 6 hojas verdaderas y una altura promedio de 8 cm, dejando un espacio definitivo de 30 cm entre plántulas. Para ello un día antes del trasplante en el terreno definitivo, se procedió a abrir los surcos y fueron regados por inundación para facilitar el trasplante de las plántulas. La población de plantas de lechuga (*Lactuca sativa L.*) variedad Great Lakes, fueron considerados en campo definitivo en un total de 1 040 plantas.

Riego.

El tipo de agua para el riego fue de la red de tubería de EPSASA. Los riegos fueron frecuentes y ligeros a inicios del cultivo (dos a tres veces por semana), también dependió de las condiciones climáticas del lugar. Durante el cultivo fue necesario asegurar la humedad en el desarrollo de la plántula y evitar exceso de humedad y desecamiento.

Deshierbo.

La eliminación de malezas en las unidades experimentales siempre estuvieron presentes por el cual el deshierbo fue constante, pues este cultivo no admite competencia con ellas, y que pueden sofocar a la lechuga, creando un ambiente propicio al desarrollo de enfermedades que invalida el cultivo.

Control de plagas.

El cultivo durante el periodo vegetativo no tuvo mayor incidencia de plagas ni enfermedades a excepción de la presencia de diabroticas (3 a 5) que fueron controladas manualmente. Hasta el final del experimento no se pudo observar otro tipo de plagas. En algunas plantas se observaron pudrición de las hojas de lechugas a ras del suelo, las cuales fueron eliminadas manualmente.

3.4. Descripción del campo experimental.

El campo experimental estuvo constituido por 5 parcelas, cuyo largo de parcela fue de 2,8 m, el ancho de parcelas de 4 m respectivamente y el área total de parcela fue de 11,2 m². La distancia entre surcos fue de 0,70 m, haciendo un total de 4 surcos por parcela y trasplantándose 13 plantas por surco las cuales tuvieron distancias entre plantas de 0,30 m.

El campo experimental también estuvo constituido por 4 repeticiones, cuyo ancho fue de 4 m, el largo de 19 m, haciendo un área total del bloque de 76 m². La distancia establecida para las calles fue de un 1 m, espacio necesario para el desplazamiento de una parcela a otra.

El área total del experimento fue considerado de la siguiente manera: ancho de 21 m, y el largo de 19 m, haciendo un área total de 399 m² para todo el experimento, (Ver gráfico N° 03 y 04).

3.5. Diseño experimental.

El diseño estadístico que fue utilizado para la instalación del presente trabajo de investigación fue el de Diseño Completo al Azar con 5 tratamientos y 4 repeticiones, haciendo un total de 20 unidades experimentales.

3.6. Selección y puntos de muestreo.

Las plantas de lechuga (*Lactuca sativa L.*) variedad Great Lakes fueron seleccionados de los dos surcos centrales, desechando un surco a cada lado para evitar interferencia de los tratamientos de cada unidad experimental. Para el muestreo de las lechugas se tomaron en cuenta que el repollo de las lechugas adquieran una consistencia dura a la presión de los dedos y habiendo alcanzado la forma redonda ovalada.

3.7. Muestras para determinar el rendimiento.

Para determinar el rendimiento de la lechuga (*Lactuca sativa L.*) variedad Great Lakes fueron seleccionadas los dos surcos centrales, desechando un surco a

cada lado para evitar interferencia de los tratamientos de cada unidad experimental, las cuales fueron cosechadas y pesadas en fresco (peso fresco) y expresadas en kg/ha. Se tomaron en cuenta que el repollo de las lechugas tengan una consistencia dura a la presión de los dedos y habiendo alcanzado la forma redonda ovalada.

3.8. Muestras para determinar la calidad sanitaria.

Para el análisis de la calidad sanitaria se procedió al corte de las lechugas a ras del suelo, que luego fueron transportadas en bolsas nuevas debidamente rotuladas para su análisis en el laboratorio de Microbiología Ambiental de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (UNSCH).

3.9. Número y frecuencia de muestreo.

Las muestras fueron tomadas cada 4 días a partir del mes de diciembre del 2009 hasta el mes de enero del 2010; se tomaron 10 muestras por vez, haciendo un total de 30 muestras analizadas.

3.10. Análisis microbiológico.

Preparación de diluciones:

- Se procedió a pesar 25 g de lechuga, la cual fue depositada en un frasco conteniendo 225 ml de agua peptonada sacudiendo completamente la muestra.
- Con la ayuda de una pipeta estéril de 10 ml y teniendo en cuenta los cuidados de asepsia se realizó las diluciones sucesivas traspasando 10 ml de las diluciones a los siguientes frascos conteniendo 90 ml de agua peptonada, hasta la dilución 10^{-4} .

Recuento de bacterias mesófilas heterotróficas viables.

Esta técnica es recomendada para el análisis de la densidad de bacterias viables heterótrofes aerobias y anaerobias facultativas en el agua y alimentos capaces

de desarrollarse en condiciones de nutrición, temperatura y tiempo de incubación a 35 °C por 48 horas. Técnica de recuento heterótrofo viables en Placa, Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater. 16 th. Ed. Parte 9000 (9215) (Chuchón y col., 2002).

El procedimiento para el análisis de mesófilas heterotróficas viables:

- Con la ayuda de una pipeta estéril se procedió a inocular 1 ml de cada muestra diluida en cada placa petri, levantando la tapa lo estrictamente indispensable.
- Cuando se ha depositado la porción conveniente (mi) se agregó agar plate count (agar estándar para recuento de colonias) fundido a una temperatura de 50°C.
- El medio y la muestra contenidos en la placa petri se mezclaron perfectamente y se distribuyó de modo uniforme en el fondo de la placa con movimientos rotatorios en forma de 8 para dejarlas en reposo por 20 minutos.
- Una vez alcanzado el punto de solidificación se incubó por 48 ± 2 horas a 35 °C en posición invertida.
- El recuento de colonias se realizó con un contador de colonias o esteroscopio.
- Se tomaron en consideración aquellas placas que presentaron entre 30 y 300 colonias.

Recuento de coliformes por la técnica del número más probable.

Técnica del Número Más probable (NMP). Standard Methods Fort he Examination of Water and Wastewater. 16 th. Ed, (Chuchón, 2002).

Prueba presuntiva:

- Se sembró 1 ml de cada una de las diluciones seleccionadas en 10 ml de caldo lauryl sulfato triptosa, cada dilución se sembró con 3 repeticiones.
- Se incubaron a 35 ± 2 °C durante 24 a 48 horas.
- Se realizó la primera lectura de la prueba transcurridas las 24 horas, la producción de gas en los tubos de fermentación se tomó como resultado positivo. Los tubos negativos fueron incubados por 24 horas adicionales.

Prueba confirmativa para coliformes termotolerantes:

- Se seleccionaron las tres últimas series de tubos positivos y negativos.
- Para confirmar se usó caldo EC, sembrando un inóculo de cada tubo positivo de las tres series seleccionadas, en igual número de tubos de caldo EC.
- Se incubó los tubos a $44,5 \pm 2$ °C durante 24 horas.
- Se realizó la lectura considerando como positivos los tubos de fermentación en los cuales se formaron gas.
- Se anotó el número de tubos confirmados como positivos.
- Se leyó en la tabla del número más probable para cuantificar los coliformes y establecer el grado de contaminación de las muestras analizadas.

Prueba confirmativa para coliformes totales:

- Se seleccionaron las tres últimas series de tubos positivos de la prueba presuntiva (caldo lauryl sulfato triptosa).
- Para realizar la confirmación se usó el caldo lactosado verde brillante bllls (CLVB) 2%, se sembró un inóculo de cada tubo positivo de las tres series seleccionadas, en igual número de tubos con CLVB, la inoculación se realizó con un asa de Kolle.

- Se incubaron a 35 ± 2 °C durante 24 horas.
- Se realizó la primera lectura considerando como positivos los tubos en los cuales se observaron la producción de gas. Los tubos negativos fueron incubados por 24 horas adicionales.
- Se anotó el número de tubos confirmados como positivos.
- Se leyó en la tabla del número más probable para cuantificar los coliformes y establecer el grado de contaminación de las muestras analizadas.

Detección de *Salmonella spp.*

- Se pesaron 25 g de lechuga, el cual se pasó a un frasco conteniendo 225 ml de agua peptonada homogenizando completamente la muestra.
- Se incubaron a 37 °C durante 24 horas (pre enriquecimiento).
- Con un asa de kolle se realizó la inoculación en tubos conteniendo caldo selenito.
- Se incubaron a 37 °C durante 24 horas (enriquecimiento).
- Con la ayuda del asa de Kolle se procedió a repicar (sembrar) en placas conteniendo medios de SS, XLD, AVB.
- Se incubaron en posición invertida a 37 °C durante 48 horas.
- Se realizó la lectura observando las características del crecimiento de las colonias en cada medio específico.

3.11. Determinación del rendimiento.

Se pesaron en total 26 plantas de cada unidad experimental, en la cual existían 52 plantas. Se tomaron en cuenta las medidas de cada unidad experimental de 2,8 m de largo y 4 m de ancho respectivamente, los cuales fueron calculados y expresados en peso de las plantas en kg/ha.

3.12. Análisis estadístico.

Los resultados obtenidos fueron ordenados, y procesados para determinar cual es el efecto del abonamiento con los biosólidos en el rendimiento y la calidad sanitaria de lechuga (*Lactuca sativa L.*) variedad Great Lakes.

IV. RESULTADOS

Cuadro Nº 1: Valores descriptivos de la medición del diámetro (cm) de plantas de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Great Lakes cultivadas en diferentes condiciones de abonamiento - Ayacucho - 2009 - 2010.

Diámetro (cm)	N	Media	Desviación Típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite Inferior	Límite superior		
T1 (Testigo)	104	44,3375	5,57291	,54647	43,2537	45,4213	32,40	59,50
T2	104	45,1038	4,52550	,44376	44,2237	45,9839	33,90	55,20
T3	104	46,6596	4,22693	,41448	45,8376	47,4816	35,00	57,00
T4	104	46,8240	6,78264	,66509	45,5050	48,1431	35,00	84,40
T5	104	47,2827	5,61663	,55076	46,1904	48,3750	35,40	61,00
Total	520	46,0415	5,51638	,24191	45,5663	46,5168	32,40	84,40

Leyenda:

T1: Testigo

T2: Tratamiento 2

T3: Tratamiento 3

T4: Tratamiento 4

T5: Tratamiento 5

Cuadro Nº 2: Análisis de varianza para la medición de diámetro (cm) de planta de Lechuga (*Lactuca sativa.L*) var. Great Lakes cultivadas en diferentes condiciones de abonamiento -Ayacucho – 2009 – 2010.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Diámetro (cm)					
Inter-grupos	657,051	4	164,263	5,589	,000
Intra-grupos	15136,371	515	29,391		
Total	15793,423	519			

Cuadro Nº 3: Comparación de medias de la variación de diámetro (cm) de plantas de Lechuga (*Lactuca sativa.L*) var. Great Lakes, mediante la prueba de tukey - Ayacucho – 2009–2010.

TRATAMIENTO	Subconjunto para alfa = ,05			
	N	2	3	1
T1 (Testigo)	104	44,3375		
T2	104	45,1038	45,1038	
T3	104		46,6596	46,6596
T4	104		46,8240	46,8240
T5	104			47,2827
Sig.		,846	,150	,922

Se muestra las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 104,000.

Leyenda:

T1: Testigo

T2: Tratamiento 2

T3: Tratamiento 3

T4: Tratamiento 4

T5: Tratamiento 5

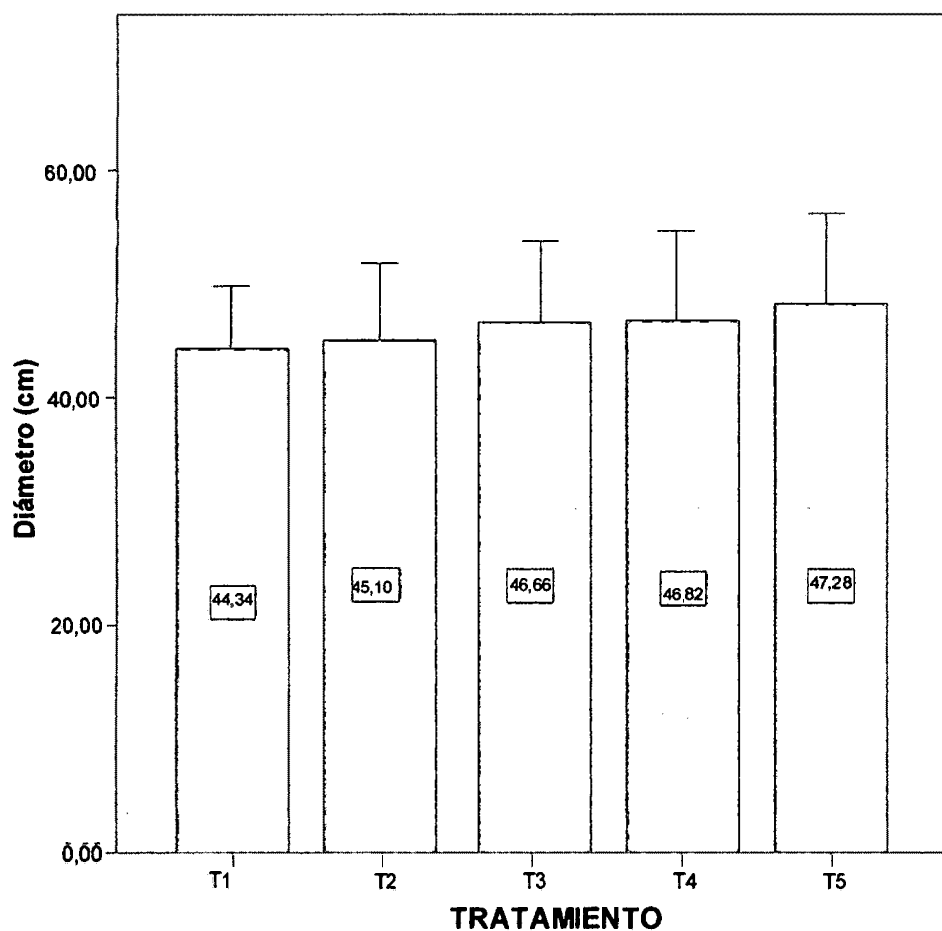


Gráfico N° 1. Valores promedio de diámetro (cm) de plantas de Lechuga (*Lactuca sativa*.L) var. Great Lakes, cultivadas en diferentes condiciones de abonamiento –Ayacucho – 2009 – 2010.

Leyenda:

T1: Testigo

T2: Tratamiento 2

T3: Tratamiento 3

T4: Tratamiento 4

T5: Tratamiento 5

Cuadro N° 4: Valores descriptivos de la medición del peso (g) de plantas de Lechuga (*Lactuca sativa.L*) var. Great Lakes cultivadas en diferentes condiciones de abonamiento - Ayacucho – 2009 – 2010.

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Peso (g) T1 (testigo)	104	666,9231	216,19538	21,19970	624,8785	708,9677	200,00	1275,00
T2	104	706,9615	188,77479	18,51089	670,2496	743,6735	350,00	1375,00
T3	104	764,5865	209,36472	20,52990	723,8703	805,3028	400,00	1300,00
T4	104	780,4231	175,46989	17,20624	746,2986	814,5476	350,00	1175,00
T5	104	790,9519	226,08373	22,16933	746,9843	834,9196	300,00	1350,00
Total	520	741,9692	208,69988	9,15210	723,9895	759,9489	200,00	1375,00

Leyenda:

T1: Testigo

T2: Tratamiento 2

T3: Tratamiento 3

T4: Tratamiento 4

T5: Tratamiento 5

Cuadro Nº 5: Análisis de varianza para la medición de peso (g) de planta de Lechuga (*Lactuca sativa*.L) var. Great Lakes cultivadas en diferentes condiciones de abonamiento - Ayacucho – 2009 – 2010.

	Suma de cuadrados	gl	media cuadrática	F	Sig.
Diámetro (cm) Inter-grupos	1169688,91	4	292 422,228	7,026	,000
Intra-grupos	21435688,5	515	41 622,696		
Total	22605377,5	519			
	8				

Cuadro Nº 6: Comparación de medias de la variación de peso (g) de plantas de Lechuga (*Lactuca sativa.L*) var. Great Lakes, mediante la prueba de tukey - Ayacucho – 2009 – 2010.

TRATAMIENTO	Subconjunto para alfa = .05			
	N	2	3	1
T1 (testigo)	104	666,9231		
T2	104	706,9615	706,9615	
T3	104		764,5865	764,5865
T4	104		780,4231	780,4231
T5	104			790,9519
Sig.		,618	,072	,884

Se muestra las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

à Usó el tamaño muestral de la media armónica = 104,000.

Leyenda:

T1: Testigo

T2: Tratamiento 2

T3: Tratamiento 3

T4: Tratamiento 4

T5: Tratamiento 5

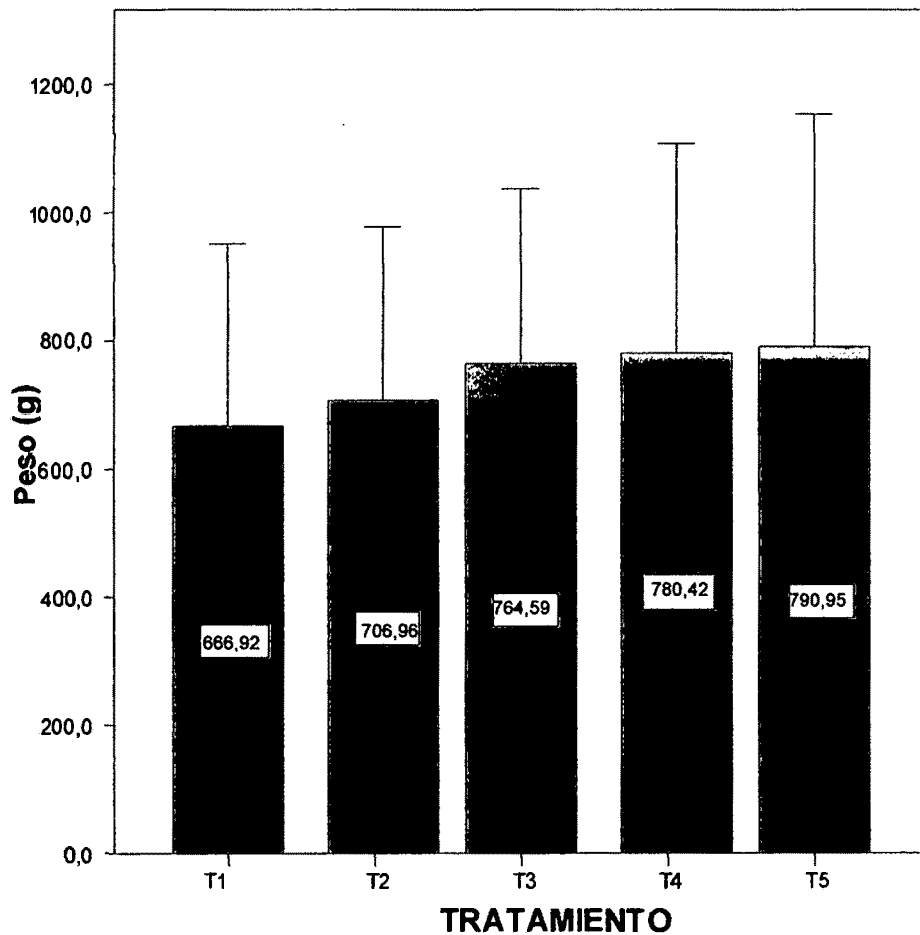


Gráfico N° 2: Valores promedio de peso (g) de plantas de Lechuga (*Lactuca sativa*L) var. Great Lakes, cultivadas en diferentes condiciones de abonamiento–Ayacucho– 2009–2010.

Leyenda:

T1: Testigo

T2: Tratamiento 2

T3: Tratamiento 3

T4: Tratamiento 4

T5: Tratamiento 5

Cuadro Nº 7. Valores del número de bacterias mesófilas heterótrofas viables (UFC) por 1000 por g de Lechuga (*Lactuca sativa.L*) Var. Great Lakes, cultivadas en diferentes condiciones de abonamiento –Ayacucho – 2009 – 2010.

TRATAMIENTO	Mesófilas viables (UFC/g)			
	Resultado 1	Resultado 2	resultado 3	Promedio
T1 (testigo)	809	805	804	806
T-2	1320	1340	1360	1340
T-3	1023	1018	1019	1020
T-4	1512	1508	1510	1510
T-5	2133	2129	2128	2130

Leyenda:

- T1: Testigo
- T2: Tratamiento 2
- T3: Tratamiento 3
- T4: Tratamiento 4
- T5: Tratamiento 5

Cuadro N° 8. Valores del número de coliformes totales y coliformes fecales (NMP/g) en plantas de Lechuga (*Lactuca sativa*.L) Var. Great Lakes, cultivadas en diferentes condiciones de abonamiento – Ayacucho – 2009 – 2010.

TRATAMIENTO	Coliformes Totales (NMP/g)			Coliformes Fecales (NMP/g)				
	Resultado 1	Resultado 2	Resultado 3	Promedio	Resultado 1	Resultado 2	Resultado 3	Promedio
T1 (testigo)	3	3	7	4,33	3	3	3	3
T-2	20	23	28	23,67	7	11	9	9
T-3	1100	240	43	461,00	120	75	43	79,33
T-4	1100	210	75	461,67	150	43	64	85,67
T-5	1100	240	64	468,00	120	93	64	92,66

Leyenda:

T1: Testigo

T2: Tratamiento 2

T3: Tratamiento 3

T4: Tratamiento 4

T5: Tratamiento 5

V. DISCUSIÓN

El cuadro N° 1 presentan los valores descriptivos, como media, desviación típica, límites inferiores y límites superiores de resultados de la medición del diámetro (cm) de plantas de lechuga (*Lactuca sativa L.*) variedad Great lakes cultivadas en diferentes condiciones de abonamiento; tratamiento 1 (testigo) con 0 kg/ha de abono, tratamiento 2 con 5 TM/ha de abono (biosólido proveniente de la Planta de tratamiento de aguas residuales "La Titora"- Ayacucho), tratamiento 3 con 10 TM/ha de biosólido; tratamiento 4 con 15 TM/ha de biosólido y tratamiento 5 con 20 TM/ha de biosólido; cada uno con cuatro repeticiones, al ser evaluados mediante el análisis de varianza, los valores muestran una diferencia estadística significativa con $\alpha < 0,005$ (cuadro N° 2), al ser sometidos a una evaluación mediante la prueba de tukey (cuadro n° 3), los resultados muestran que los datos pueden ser agrupados hasta en 3 bloques con clara tendencia de que a mayor cantidad de abono (tratamientos 3, 4 y 5), las plantas de lechuga presentan mayor tamaño (diámetro), evidenciándose que hay un efecto positivo del abonamiento con biosólidos en el crecimiento de la lechuga.

El Cuadro N° 4 se presentan los valores descriptivos como media, desviación típica, límites inferiores y límites superiores, entre otros, de resultados de la medición del peso (g) de plantas de lechuga (*Lactuca sativa L.*) variedad Great Lakes cultivadas en diferentes condiciones de abonamiento (tratamientos 1, 2, 3, 4 y 5) cada uno con 4 repeticiones; los mismos al ser evaluados mediante el

análisis de varianza, los valores muestran una diferencia estadística significativa con $\alpha < 0,005$ (cuadro N° 5) y al ser sometidos a una evaluación mediante la prueba de tukey (cuadro N° 6) los resultados muestran que los datos son agrupados hasta en 3 bloques, con valores estadísticamente diferentes con clara tendencia de que a mayor cantidad de abono o biosólido (tratamientos 3, 4, 5) las plantas de lechuga presentan mayor peso, evidenciándose que hay un efecto positivo del abonamiento con biosólidos en el incremento del peso de la lechuga.

El efecto positivo en el rendimiento de la lechuga (*Lactuca sativa L.*) variedad Great Lakes se debe a la incorporación; a través del biosólido, de materia orgánica y nutrientes que mejoran el suelo y nutren a las plantas; al respecto la EPA - 832 (2000) indica que, los biosólidos son básicamente materiales orgánicos que pueden ser utilizados en diversas usos benéficos, tal como su incorporación al terreno para abastecerlo de nutrientes y renovar la materia orgánica del terreno; estas mejoran las características del suelo, tales como; la textura y la capacidad de absorción de agua, los cuales brindan condiciones más favorables para el crecimiento de las raíces e incrementan la tolerancia de la vegetación a la sequía. La aplicación de biosólidos también proveen nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal, incluyendo el nitrógeno y el fósforo, así como algunos micronutrientes esenciales, tales como el níquel, el zinc y el cobre. Pesinova (2008), indica que los biosólidos son materiales con alto contenido de materia orgánica y nutriente. Por otro lado, Aller y col. (1999), en el informe "utilización de biosólidos en la agricultura, experiencia 2: cereales de invierno en invernadero", reportan que se comprobó que los cereales a las que se había aportado todos las plantas tenían: mayor desarrollo radicular, crecimiento y desarrollo más rápido, tonalidades más intensas en hojas, mayor desarrollo con adelanto en la emergencia de aristas entre otras. Los mismos

autores, en la experiencia 3: aporte de lodos en cultivo de Rye – Grass en invernadero informan que en cada corte se pesó la producción, hallando el peso fresco, peso seco y % de materia seca, observándose que la maceta con una dosis de lodos mayor es la que muestra un incremento de peso más significativo; estas observaciones son coincidentes en los hallados en nuestra investigación.

Uribe y col. (2002), en su informe del estudio de factibilidad económica del uso de biosólido en el cultivo de maíz forrajero indican que al aplicar de 10 a 40 ton ha⁻¹ de biosólidos se obtiene una producción estadísticamente similar en las variables de forraje verde, materia seca, grano y olate, y el no aplicar fertilizante produce menor rendimiento, siendo diferentes estadísticamente a la aplicación de biosólidos. Situación similar a lo que se reporta en nuestra investigación. Estas diferencias en rendimiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) variedad Great Lakes está basada en el incremento de nutrientes en el suelo por la aplicación del biosólido; tal como señalan Celis y col. (2006), en su informe de la investigación titulada “efecto de la adición de biosólidos urbanos y salmonicultura sobre germinación de semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en un suelo patagónico manifestando que las aplicaciones de biosólidos al suelo patagónico incrementaron los niveles de N, P, Zn, Fe y Mn, en relación directa con el aumento de la dosis de biosólidos aplicada. Jurado y col. (2004), en el informe del trabajo de investigación titulado “Aprovechamiento de biosólidos como abonos orgánicos en pastizales áridos y semiáridos” indican que la aplicación superficial de biosólidos en dosis moderadas en pastizales áridos y semiáridos en la época de invierno y primavera ha mostrado los mejores resultados. Los principales beneficios incluyen una mayor disponibilidad de humedad y algunos nutrientes en el suelo, incremento de la producción y calidad de forraje de pastos; se han obtenido algunos resultados

negativos sobre las propiedades del suelo, sin embargo estos se han presentado solamente en dosis altas (90 TM/ha), que no se recomiendan comercialmente. Del mismo modo Tapia y Gonzales (2005), en el artículo titulado "lodos de plantas depuradoras de aguas servidas. Su valor como fertilizante", mencionan que el lodo es un sustrato que presenta un valor como fertilizante, especialmente en lo que se refiere a nitrógeno y fósforo, además de materia orgánica.

El efecto mejorador del suelo y aportante de nutrientes que tienen los biosólidos se sustentan en los reportes hechos por Chuchón (2010), que en la investigación titulada "Estudio comparativo de tres procesos de tratamiento para disposición segura de biosólidos generados en la PTAR "La Totora"- Ayacucho – Perú 2007" informa que los biosólidos deshidratados contienen entre 14,05 a 18,11 % de materia orgánica, entre 1,36 a 1,71 % nitrógeno total, entre 1,15 a 2,19 % de fósforo total; de 0,24 a 0,40 % de potasio; del mismo modo Dáguez (2003.b), en su artículo titulado "Gestión de biosólidos en Colombia" indica como características agrologicas de los biosólidos de Colombia, para nitrógeno total un rango de 1,6 a 3,3 %, de 0,04 a 3,3 % y 0,007 a 0,4 % para fósforo y potasio respectivamente.

Las observaciones realizadas en la presente investigación referente al rendimiento de la lechuga (*Lactuca sativa L.*) variedad Great Lakes para efecto de la aplicación de biosólidos generados en la PTAR "La Totora" nos permite aseverar que este producto puede ser usado como mejorador de suelo, principalmente de aquellas degradados o áridos; aseveración corroborada por numerosos investigadores, entre ellos, Mahamud y col. (1996), que en el artículo titulado "Biosólidos generados en la depuración de aguas (I): planteamiento del problema" indican que la utilización de lodos en la agricultura consiste en incorporar éstas a las tierras de cultivo mediante diferentes

técnicas con el siguiente aporte de nutrientes y mejora de la textura del suelo, siendo en muchos casos este último el principal fin perseguido. Teóricamente esta sería quizás la forma más adecuada de utilización de los lodos ya que se aprovecharía su contenido de elementos esenciales para el desarrollo vegetal (nitrógeno y fósforo), de oligoelementos y de materia orgánica que constituye una fuente de nutrientes a largo plazo; resulta pues una alternativa ecológica y económicamente razonable en principio.

En el cuadro N° 07 podemos observar los valores del número de bacterias heterótrofas mesófilas viables (UFC/g) en plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) variedad Great Lakes cultivadas en diferentes condiciones de abonamiento con biosólidos generados en la PTAR "La Totorá"; las que corresponden al tratamiento 1 (testigo) son las que no fueron abonadas con biosólidos presentaron la menor carga microbiana, con un promedio de 806×10^3 UFC/g, en comparación a las plantas sometidas a abonamiento con biosólidos, con promedios de 134×10^4 , 102×10^4 , 151×10^4 y 213×10^4 UFC/g para los tratamientos 2, 3, 4 y 5 respectivamente (T2: 5 TM/ha, T3: 10 TM/ha, T4: 15 TM/ha y T5: 20 TM/ha); observándose una clara tendencia de relación directa de la carga microbiana a la cantidad de biosólidos aplicados. Estos resultados indican que el abonamiento de un terreno con biosólido incrementa la carga microbiana de la misma; este hecho puede significar un impacto positivo desde el punto de vista agronómico, si estos microorganismos no significan ningún riesgo para la salud pública; pero si lo fueran, el efecto sería negativo. Referido a esta situación Guzmán y Campos (2004), en el informe de la investigación titulada "Indicadores de contaminación fecal en biosólidos aplicados en agricultura" señalan que en el campo agrícola han sido exitosamente utilizados, los biosólidos, en la cosecha de diferentes alimentos, producción de césped, mejoramiento de bosques y revegetalización de áreas disturbadas por minería

y construcción; sin embargo, su aplicación está condicionada al riesgo relacionado con los microorganismos patógenos presentes en este producto. Según los criterios microbiológicos de Calidad Sanitaria e Inocuidad para Alimentos y bebidas de consumo Humano, aprobado con Resolución Ministerial N° 615-2003-SA/DM (El Peruano, 2003) en su numeral 14 referido a frutas, hortalizas y otros vegetales (frutas y hortalizas congeladas y refrigeradas) la lechuga no debe exceder en 10^5 UFC/g de mesófilos aerobios; y comparando con nuestros resultados, todas las muestras superan el límite máximo permisible para este parámetro microbiológico, incluyendo el testigo que no fue abonado con biosólidos. Cabe recordar que el número de bacterias mesófilos heterótrofos viables es un indicador de higiene, mostrando una relación directa entre disminución del número de estas bacterias con el mayor nivel de limpieza. Debemos observar que la alta carga microbiana que presentan las muestras de lechuga (*Lactuca sativa L.*) variedad Great Lakes sometidas a abonamiento con biosólidos podrían deberse a que fueron sometidos a análisis microbiológicos en estado fresco, sin previo lavado y con toda seguridad esta carga disminuiría si fuera sometida a lavado con agua corriente, actividad que se hace previa a su comercialización o almacenamiento.

En el cuadro N° 08 se presentan los valores del número de coliformes totales y coliformes fecales (NMP/g) en muestras de lechuga (*Lactuca sativa L.*) variedad Great Lakes cultivadas con diferentes cantidades de biosólidos generados en la PTAR "La Totorá"; las que corresponden al tratamiento 1 (testigo) los que no fueron abonados con biosólidos, presentaron la menor carga de coliformes totales como de coliformes fecales con 4×10^3 y 3×10^3 NMP/g, respectivamente, en comparación a las plantas sometidas a abonamiento con biosólidos, con promedios de 24×10^3 , 46×10^4 , 46×10^4 y 47

$\times 10^4$ NMP/g de coliformes totales, para los tratamientos 2, 3, 4 y 5, respectivamente (T2: 5 TM/ha, T3: 10 TM/ha, T4: 15 TM/ha y T5: 20 TM/ha); observándose la misma tendencia en lo referente a coliformes fecales ; con un promedio de 9×10^3 , 79×10^3 , 86×10^3 y 93×10^3 NMP/g para los tratamientos 2, 3, 4 y 5 respectivamente. Esta tendencia de incremento de bacterias coliformes se debe a que los biosólidos provenientes de la PTAR de aguas domesticas se caracterizan por tener alta carga de este grupo microbiano, tal como lo informa Chuchón (2010), en su informe del “Estudio comparativo de tres procesos de tratamiento para disposición segura de biosólidos generados en la PTAR “La Totorá” Ayacucho”, quien reporta $7,21 \times 10^6$; $3,10 \times 10^6$ y $4,9 \times 10^9$ NMP/g de coliformes fecales para biosólidos generados en la PTAR antes indicada; por otro lado Dáguer (2003.b), en su informe de “Gestión de biosólidos en Colombia” indica que con respecto a las características microbiológicas, las concentraciones de coliformes fecales de los biosólidos de la mayoría de las PTAR de Colombia son las típicas de un biosólido de clase B, con un rango de $1,5 \times 10^5$ a $5,1 \times 10^5$ NMP/g.

Según la Norma EPA 40 CRF-503 (2003) los biosólidos, según el parámetro del número de coliformes fecales, los biosólidos pueden clasificarse como clase A. Si posee $< 10^3$ NMP/g de coliformes fecales y $< 2 \times 10^6$ NMP/g de coliformes fecales como clase B; los biosólidos de clase A, pueden ser usados sin ninguna restricción (cultivos de consumo directo), los biosólidos de clase B pueden ser usados en recuperación de suelos plantaciones forestales, cultivos que no se consuman directamente y cobertura de rellenos sanitarios; sin embargo, las concentraciones de indicadores de contaminación fecal limitan su aprovechamiento por un tiempo en cultivos agrícolas de consumo directo como las hortalizas.

El Análisis microbiológico para la detección de *salmonella spp*, en muestras de lechuga (*Lactuca sativa L.*) variedad Great Lakes cultivadas con diferentes cantidades de biosólidos generados en la PTAR “La Totorá”; resultaron negativo para todos los tratamientos, observándose que no hubo crecimiento de colonias características en cada medio específico. (SS, XLD, AVB) respectivamente.

VI. CONCLUSIONES

1. Referente al rendimiento de Lechuga (*Lactuca sativa L.*) var. *Great Lakes*, que a mayor cantidad de abono o biosólido las plantas de lechuga presentan mayor peso (g) y tamaño (diámetro), evidenciándose que hay un efecto positivo del abonamiento con biosólidos en el rendimiento de la lechuga.
2. Los niveles de abonamiento con biosólidos primarios que dieron mejor rendimiento en peso (g) y tamaño (diámetro), fueron los tratamientos 3; con 10 TM/ha, el tratamiento 4; con 15 TM/ha y el tratamiento 5; con 20 TM/ha respectivamente.
3. La calidad sanitaria de lechuga (*Lactuca sativa L.*) var. *Great Lakes* abonados con biosólidos generados en la PTAR "La Totorá" – Ayacucho, son considerados deficientes (No Apto) para consumo humano, según los Criterios Microbiológicos de Calidad Sanitaria e Inocuidad para los Alimentos y Bebidas de Consumo Humano (Resolución Ministerial Nº 615-2003-SA/DM).

VII. RECOMENDACIONES

- a. Se recomienda triturar los biosólidos y mezclar con la tierra hasta por dos a tres veces con la finalidad de homogenizar el terreno antes del trasplante de las plántulas de lechugas en terreno definitivo.
- b. Las plántulas para el trasplante en terreno definitivo deben presentar de 5 a 6 hojas verdaderas.
- c. Realizar el deshierbo constante de las parcelas de lechugas para evitar la competencia hídrica y/o la presencia de plagas.
- d. Evitar el riego excesivo para evitar podredumbre a nivel del cuello de las plantas.
- e. Se recomienda realizar el análisis parasitológico (huevo de helmintos) de los biosólidos Generados en la PTAR "La Totorá".
- f. Realizar evaluaciones de características fisicoquímicas y sanitarias de los biosólidos que se generan en la PTAR "La Totorá".
- g. Realizar compostaje de Biosólidos y lograr biosólidos de clase A, para su utilización sin restricciones en prácticas agrícolas de tallos cortos.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aller, F., Diez, C., Garzón, E. y A, Moran. 2004. La aplicación de lodos en cebada mejora los rendimientos y resuelve el problema de los residuos. Disponible en <http://www.fao.org>.
2. Aller, F., Otero, M., Garzón, E. y A, Moran. 1999. Utilización de biosólidos en la agricultura
3. Castro, C., Henríquez, O. y R, Freres. 2007. Posibilidades de aplicación de lodos o biosólidos a los suelos del sector norte de la Región Metropolitana de Santiago. Disponible en <http://www.scielo.cl>.
4. Celis, J., Sandoval, M., Zagal, E. y M, Briones. 2006. Efecto de la adición de biosólidos urbanos y de salmonicultura sobre la germinación de semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en un suelo Patagónico.
5. Consulting Engineers Salzgitter (CES) GMBH. 2002. Estudio definitivo – informe final proyecto de agua potable y alcantarillado de Ayacucho.
6. Chuchón, S., Palomino, S. y J, Alarcón. 2002. Manual de Prácticas de Microbiología Ambiental.
7. Chuchón, 2010. Estudio comparativo de tres procesos de tratamiento para disposición de biosólidos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales “La Totorá” –Ayacucho – Perú – 2007.
8. Dáguer, G. (a) 2003. Los biosólidos del tratamiento municipal y su uso en la agricultura. Disponible en <http://www.geocities.com>.
9. Dáguer, G. (b) 2003. Gestión de biosólidos en Colombia. Disponible en <http://www.geocities.com/ptarcolombia/gestion.htm>.
10. Díaz, J. y F, Bellot. 1995. Evaluación de tanques Imhoff- ciudad de La Paz. VII Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Santa Cruz – Bolivia.

11. EPSASA. 2010. Tratamiento de aguas servidas. [En línea]. Ayacucho, disponible en URL,<http://www.epsasa.com.pe> [Accesado el día 20 de junio de 2010]
12. EPSASA. 2004. Proyecto de agua potable y alcantarillado de Ayacucho. Lote 2 – Mejoramiento y/o ampliación de la Planta de Tratamiento de aguas servidas “La Totorá”. Manual de Operación y Mantenimiento del Sistema. Consulting Engineers Salzgiter GMBH. Ayacucho – Perú.
13. EPA – 832. 2000. Folleto informativo de tecnología de biosólidos. Aplicación de biosólidos al terreno. Disponible en <http://www.epa.gov>.
14. El Peruano. 2003. Resolución Ministerial N° 615 – 2003 – SA/DM. “Criterios Microbiológicos de Calidad Sanitaria e Inocuidad para los Alimentos y Bebidas de Consumo humano”. Disponible en <http://www.digesa.minsa.gob.pe>. (Accesado el 30 de mayo del 2010)
15. Fresquez, P., Francis, R. y G, Dennis. 1990. Uso de biosólidos para incrementar la productividad en alfalfa. Disponible en <http://www.cepis.org.pe>.
16. Flores, Z. 2001. Los abonos orgánicos. Disponible en <http://www.porvenir.solarguest.com>.
17. García, A. 2006 El desarrollo en el uso de biosólidos en el Noroeste de España. Disponible en <http://www.agroamb.com>
18. Guzmán, C. y C, Campos. 2004. Indicadores de contaminación fecal en biosólidos aplicados en agricultura. Pontificia Universidad Javeriana. Revista de la Facultad de Ciencias Vol. 9, N°01:59–67. Colombia.
19. Jurado, P., Luna, M. y R, Barretero. 2004. Aprovechamiento de biosólidos como abonos orgánicos en pastizales áridos y semiáridos.
20. Koenig, R., Miner, D. y K, Goodrich. 1998. Land Application of biosolids a guide for farmers. AGWM-02. Disponible en <http://usu.edu>.

21. Krarup, H. 1992. Seminario sobre la producción de brócoli. Agridec. Quito - Ecuador.
22. Laquinua. 2008. Abonamiento y Fertilización. Disponible en <http://laquinua.blogspot.com>.
23. Lavado, R. y M, Taboada. 2002. Manual de procedimientos para la aplicación de Biosólidos en el campo. Disponible en <http://www.frbb.utn.edu.ar>.
24. Lemainski, J. y J, Eurípedes. 2003. "Evaluación agronómica y económica en la aplicación de biosólidos como fertilizantes en la producción de soja. Disponible en <http://www.scielo.br>.
25. Luiselli, C. 2003. 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. Disponible en <http://www.medioambiente.gov.ar>.
26. Mazzarino, L., Satti, M., Roselli, L., Moyano, S., Ruival, M. y P, Moller. 2000. Publicado en ingeniería sanitaria y ambiental, Año 2000, Nro. 50, pp. 86-89 (Publicación Asociación Argentina de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente-AIDIS). Disponible en <http://www.medioambiente.gov.ar>
27. Mahumud, M., Gutiérrez, A. y H, Sastre. 1996. Biosólidos generados en la depuración de aguas (I): Planteamiento del problema.
28. Montoya, G. 2007. Gestión biosólidos, planta de tratamiento aguas residuales San Fernando, empresas publicas de Medellín. e.s.p. Disponible en <http://www.latinosan2007.net>.
29. Murillo, T., Barrios, P. y C, Jiménez. 2010. Aplicación de biosólidos como mejoradores de suelos salinos-sódico. Disponible en www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico13/062.pdf. (Accesado el 30 de mayo del 2010).

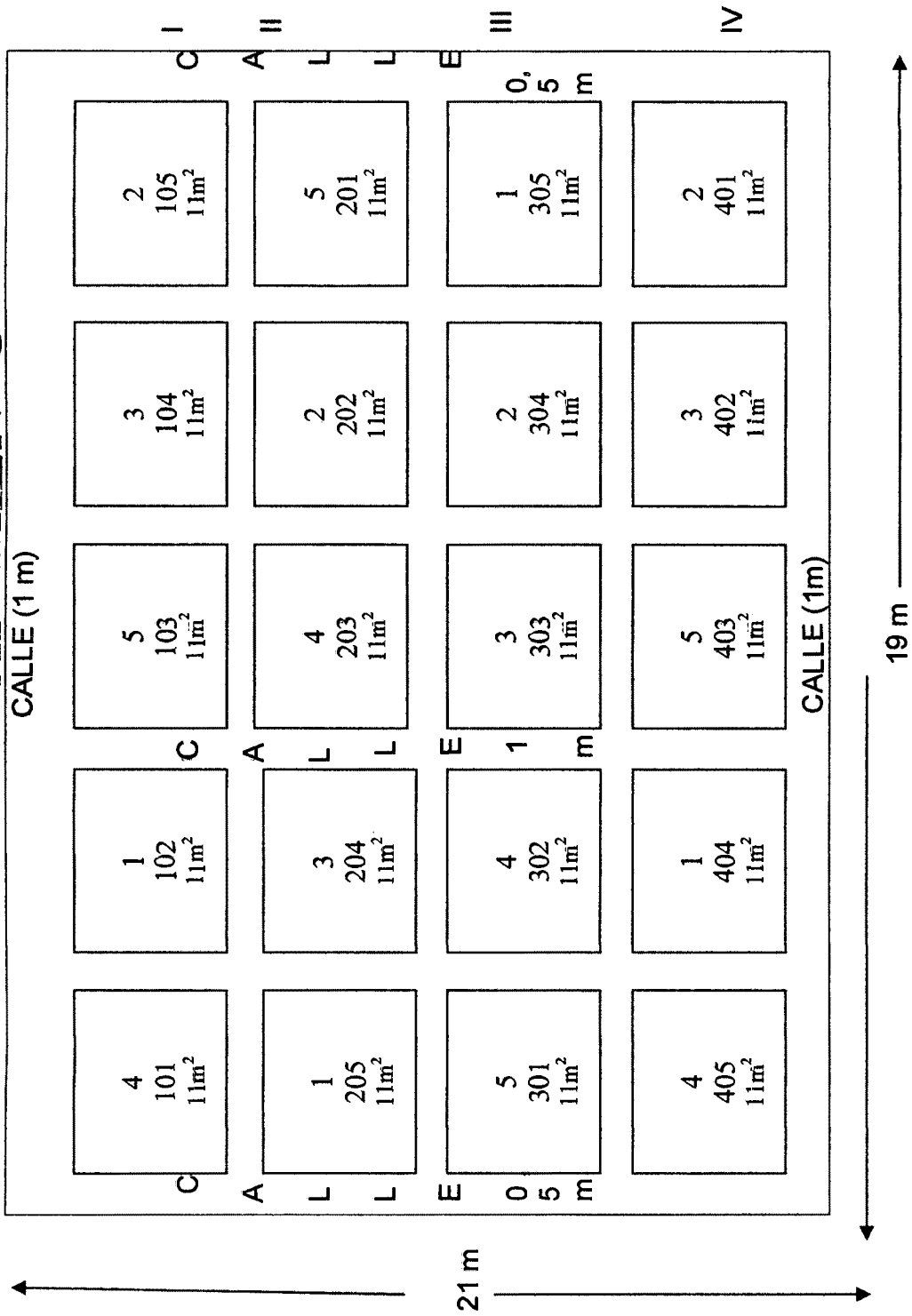
30. Norma 40 CRF parte 503. Environmental Protection Agency (EPA), 2003).
Clasificación de biosólidos en dos Tipos A y B. Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín. Rev. Fac. Agr.Medellín vol.61 n°1 Medellín Jan/june 2008. Disponible en <http://www.scielo.org>.
31. Otegui, M. y R, Bonhomme. 1998. Ensayo comparativo de rendimiento de maíz en siembra de segunda campaña. .Disponible en <http://www.inia.gob.pe>.
32. Pesinova, V. 2008. Reciclado y Tratamiento de Residuos. Disponible en. <http://www.ciatec.mx>.
33. Ramírez, R. y M. Pérez. 2006. Potencial de los biosólidos procedentes del tratamiento de aguas residuales para uso agrícola y su efecto sobre el cultivo de rábano rojo (*Raphanus sativus L.*). Disponible en <http://www.agro.unalmed.edu.co>.
34. Rolim, S. 2000. Sistema de Lagunas de estabilización. Editorial Mc Graw – Hill Interamericana. Bogotá – Colombia.
35. Satorre, E. 2002. Profesor Titular, Cátedra de Cereales, Facultad de Agronomía UBA y Coordinador del Área Técnica Agrícola de AACREA. Disponible en <http://www.ppi-ppic.org>
36. Tamariz, V. 2007. Aprovechamiento de lodos generados en las plantas de tratamiento. Disponible en <http://www.comunicacion.buap.mx>
37. Tapia, F. y S, González. 2005. Lodos de plantas depuradoras de aguas servidas. Su valor como fertilizante.
38. Tebbutt, T. 1997. Fundamentos de control de la calidad de agua. Editorial Limusa S.A. México.
39. Tchobanoglous, G. y F, Burton. 1995. Ingeniería de aguas residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización. METCALF y EDDY. Inc Vol. I. Tercera edición. Editorial Mc Graw Hill. España.

40. Uribe, M. y N, Chávez. 2000. El uso de Biosólidos para mejorar la productividad de los suelos agrícolas. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org>.
41. Uribe, R., Orozco, G., Chávez, N. y M, Socorro. 2002. Factibilidad económica del uso de biosólidos en el cultivo de maíz forrajero.
42. U.S. EPA, 1993 y 1994. Folleto informativo de tecnología de biosólidos. Aplicación de biosólidos al terreno. Disponible en <http://www.epa.gov>.
43. Vaca, M., Beltrán, M., Cárdenas, J., González, A. y R, López. 2005. Manejo ambiental de biosólidos para uso agrícola. Disponible en bvsde.paho.org.
44. Vélez, J. 2007. Los biosólidos: ¿una solución o un problema?. Artículo de revisión. Revista Producción + Limpia. Julio – Diciembre 2007. Vol 2 N° 2. Pp 57 – Medellín – Colombia.
45. Von, M. 1996 .Lagunas de estabilización. Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Universidad Federal de Minas Gerais. Editorial SEGRAG. Brasil.

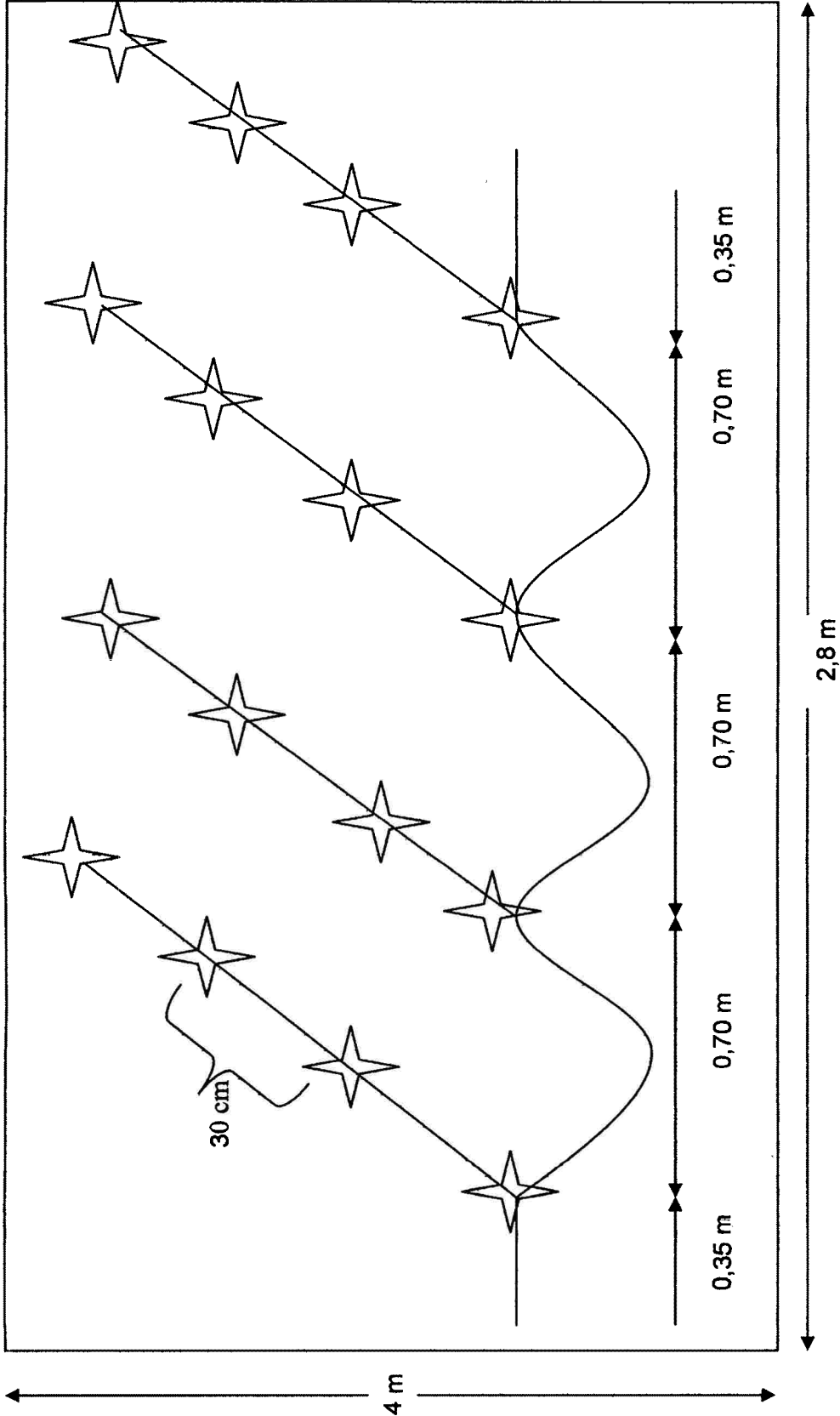
IX. ANEXOS

ANEXO N° 1
 Grafico N° 3. Croquis del campo experimental de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Great Lakes.
 Distrito de Carmen Alto - Ayacucho - 2009 - 2010

TRATAMIENTO



ANEXO N° 2
 Gráfico N° 4. Esquema de la distribución de los surcos y distanciamiento entre plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Great Lakes.
 Distrito de Carmen Alto - Ayacucho - 2009 - 2010



ANEXO N° 3

Cuadro N° 9: Valores del diámetro y peso de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Great Lakes. Distrito de Carmen Alto - Ayacucho -- 2009 -- 2010.

N° de plantas	REPETICIÓN I											
	T(1)Blanco		T2		T3		T4		T5			
	Diámetro (cm)	Peso (g)	Diámetro (cm)	Peso (g)	Diámetro (cm)	Peso (g)	Diámetro (cm)	Peso (g)	Diámetro (cm)	Peso (g)		
1	48	925	47	664	59,4	1200	44,4	725	46,9	729		
2	54	800	57	1175	55,6	825	51	900	41,7	600		
3	44,2	700	54	975	59,1	1025	48,5	700	53,3	850		
4	46,7	625	56,5	1125	52	875	42,8	500	37	300		
5	50,5	700	45	575	50,5	750	38,3	450	44,8	600		
6	58,5	1025	42	575	46,5	750	40	575	45	525		
7	55,5	900	52	925	39,1	500	43,9	575	51,8	900		
8	47,1	750	51	1125	64	1200	40	550	43	700		
9	50,1	750	48	750	36	475	43,9	750	49,3	1000		
10	44,8	750	46,1	725	44,3	825	41,7	550	47,5	750		
11	39,7	700	50,4	900	50,9	925	44,2	450	42,5	600		
12	57	1200	57	1150	57	1000	39,8	400	39	375		
13	54,8	975	48,9	1000	54,7	925	38,8	350	36,5	400		
14	48	700	42,8	650	59,8	1200	54,5	1125	55	850		
15	43,1	675	50	1000	53,5	1000	52,8	1025	45,4	650		
16	46,5	875	42,5	550	49,5	1075	42	580	54,7	1050		
17	45,5	850	49,5	850	84,4	575	40,7	375	54,1	1050		
18	40,9	500	45,9	750	56	1300	40	500	46,4	925		
19	45	750	50,9	975	45	700	47,5	650	40,5	550		
20	46,9	750	46,8	750	41,5	600	44,5	575	55,5	1050		
21	42,5	425	49,8	750	52	1100	41	550	39,5	350		
22	46,5	725	46,1	800	42,8	780	40,8	475	47,6	825		
23	38,8	425	44	525	43,4	700	47	720	43,5	500		
24	43	650	54,3	1150	46	750	38,5	400	45,5	600		
25	41,6	615	43,8	625	43	575	43,2	600	46,1	825		
26	46,2	625	43,9	725	45,3	700	44,7	625	47,1	700		
Promedio	49,166667	744,80769	49,727273	837,07692	50,111111	858,84615	43,00	602,88462	43,8	702,07692		

ANEXO N° 4

Cuadro N° 10: Valores del diámetro (cm) y peso (g) de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Great Lakes. Distrito de Carmen Alto - Ayacucho – 2009 – 2010.

N° de plantas	REPETICION II														
	T (1) Blanco		T2			T3			T4			T5			
	Diámetro (cm)	Peso (g)	Diámetro (cm)	Peso (g)	Diámetro (cm)	Peso (g)	Diámetro (cm)	Peso (g)	Diámetro (cm)	Peso (g)	Diámetro (cm)	Peso (g)	Diámetro (cm)	Peso (g)	
1	45,2	750	48,9	800	41,4	537	42	691	60	1250					
2	41	575	53	1000	55	1050	42,5	700	49	925					
3	48,5	850	49,3	900	54,8	1000	42,5	775	53	1000					
4	41,5	525	53	900	55,6	1250	41,5	675	41,5	1200					
5	36	400	55,4	1100	48,4	775	42	750	49	1300					
6	38	500	42	600	42	600	34,5	400	54,8	1025					
7	45,4	750	46	800	45	750	55	950	61	1350					
8	37,9	450	45,1	750	50,1	800	48	850	47	800					
9	39	450	48	950	48,6	750	53	825	48,5	800					
10	34,1	325	43	650	44	500	47,8	750	42	600					
11	39,5	600	43	750	51	900	43,8	700	57,5	1000					
12	46,5	625	45	700	42,5	550	50,5	1000	49	900					
13	43	700	46,3	750	42,6	600	45,9	950	49,3	850					
14	48	650	48,5	1100	49,3	850	43,5	625	46	800					
15	49	900	46,5	700	48,5	800	45,1	800	45,5	825					
16	47,6	850	45,9	750	49,1	850	45,5	550	45,8	700					
17	47,1	750	48,3	900	55	1250	46,5	650	49,5	900					
18	45	750	42,5	700	49	1125	40	600	45,6	950					
19	41,9	575	47,7	750	49,4	800	45,5	750	54,3	775					
20	43,5	450	46,5	850	41,5	625	42,5	600	46,3	625					
21	34,4	500	47,9	750	47,5	800	47,5	625	49	950					
22	45,5	350	44	700	48,5	975	44,4	825	50,7	950					
23	44,2	500	47	875	49,1	800	42	600	46,5	690					
24	37,8	450	48	700	40,1	625	50,8	975	44,7	800					
25	37,1	455	49	1075	45,9	600	41,4	525	46,5	800					
26	40,5	400	44	910	47,6	650	47,6	700	49,1	925					
Promedio	42,375	580	46,538462	823,46154	48,714286	800,46154	46,00	724,65385	50,5	911,15385					

ANEXO N° 5
 Cuadro N° 11: Valores del diámetro (cm) y peso (g) de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Great Lakes. Distrito de Carmen Alto - Ayacucho - 2009 - 2010.

N° de plantas	REPETICIÓN III											
	T (1) Blanco		T2		T3		T4		T5			
	Diámetro (cm)	Peso (g)	Diámetro (cm)	Peso (g)	Diámetro (cm)	Peso (g)	Diámetro (cm)	Peso (g)	Diámetro (cm)	Peso (g)		
1	44,5	750	48	800	41	495	43	750	39,5	400		
2	53,5	990	43	800	45	750	53	1025	51,8	750		
3	49,8	780	46	700	43,5	700	47,5	800	53	850		
4	49	1000	47	750	48,5	700	46,9	550	53	840		
5	48	800	45,5	800	46,5	650	47,5	800	47,5	650		
6	51	800	51	900	40,8	595	52	950	58,5	1100		
7	49,5	900	51	800	50,3	800	53	800	35,4	400		
8	49,5	1000	50	495	43,3	850	47,3	850	56,5	1150		
9	43	800	47	700	40	675	45	700	53	750		
10	42	500	43,5	750	46,5	800	50	950	54	825		
11	46,5	925	40,8	700	45,5	800	41	600	51,6	1175		
12	52	1150	49	925	44	850	40,3	400	48	925		
13	51,5	900	40	700	44	775	35,5	400	54,5	1050		
14	44,5	675	43,6	700	48	750	33,9	550	55	900		
15	46	765	48,4	800	41	583	41,4	653	53	1100		
16	59,5	1125	46	800	45,4	800	43,8	725	47	825		
17	47	800	48,5	750	47,5	800	42	600	42,5	600		
18	47,7	825	45,5	700	45,5	750	49,3	850	46,5	875		
19	51	875	54,4	1025	50,3	1100	46,5	850	54	1100		
20	43,4	775	38,3	700	39,9	450	49,5	550	48	825		
21	49,5	1275	46,6	700	43,5	750	50	900	42,5	550		
22	48,1	500	43,6	500	41,5	700	46,6	725	48,5	960		
23	46,3	775	49,5	800	38	600	40,2	600	43,6	575		
24	43,2	750	42	575	41	725	41	600	46,3	850		
25	49,2	1025	41,6	500	45,4	620	47	750	39,3	450		
26	40	425	42,4	560	43,5	575	40,2	475	47	825		
Promedio	46,9	841,73077	46,66667	737,69231	42,44444	717,03846	47,00	707,80769	51,363636	819,23077		

ANEXO Nº 6

Cuadro Nº 12: Valores del diámetro (cm) y peso (g) de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Great Lakes. Distrito de Carmen Alto - Ayacucho - 2009 - 2010

Nº de plantas	T (1) Blanco		T2		T3		T4		T5	
	Diámetro (cm)	Peso (g)	Diámetro (cm)	Peso (g)	Diámetro (cm)	Peso (g)	Diámetro (cm)	Peso (g)	Diámetro (cm)	Peso (g)
	REPETICIÓN IV									
1	35,2	200	35	350	53	775	49	900	48	925
2	48	825	44	600	42	400	42	750	49	600
3	41	590	43	500	44	510	50,5	1000	37	500
4	45	500	40	500	39	400	40,5	800	40,5	600
5	45	700	52	1000	39,5	455	44,5	750	37	300
6	45	550	45	750	46,8	1000	44	700	36	450
7	36,3	425	45,2	700	43	590	42	550	41,5	620
8	35,5	400	44	600	40,4	550	44	640	46	900
9	43,5	575	39,4	550	41	650	43	600	47,5	730
10	35,5	375	46,5	800	42,5	650	45,9	765	40,3	650
11	43,6	700	47,2	900	47	825	49,5	800	54	1250
12	37,2	500	45	850	37,7	425	49	850	37,3	675
13	41,1	650	53	900	39,3	400	55,2	1375	43	590
14	42,5	600	42,5	835	47	800	53,3	1100	46,2	775
15	43	590	51	950	52	1175	49	875	46,5	800
16	33,5	325	49	700	46,2	750	49,8	700	47,1	775
17	32,4	300	50,6	975	46,9	852	46,5	700	48,7	1025
18	40,2	475	47,2	1050	56,5	1075	54,3	1150	49,9	900
19	42,2	525	49,7	850	46	800	42	625	50,5	1100
20	45,8	700	46	775	48,3	800	48	850	38	525
21	36,1	425	49,4	925	41,8	800	46,5	775	45,2	625
22	36,9	375	42,4	600	49,2	775	49,2	975	44,7	750
23	35,9	325	40,4	550	35,9	475	44	750	54,5	850
24	43,9	600	42,5	575	35	450	41,5	475	42,4	525
25	39,7	400	41,1	500	45,8	600	44,3	625	49,4	850
26	39,3	400	40,3	525	41,7	750	44,1	525	47,4	725
Promedio	44,5	501,15385	45,583333	723,46154	44,454545	682	45,090909	792,5	43,111111	731,34615

ANEXO N°7



Fotografía N° 1: Distribución de biosólidos en parcelas en el distrito de Carmen Alto – Ayacucho – 2009.

ANEXO N°8



Fotografía N° 2: Mezclado de biosólidos en parcelas en el distrito de Carmen Alto –Ayacucho – 2009.

ANEXO N° 9



Fotografía N° 3; Trasplante de plántulas de lechuga var. *Great Lakes*, en terreno definitivo en el distrito de Carmen Alto –Ayacucho – 2009.

ANEXO Nº 10



Fotografía Nº 4: Plántulas de lechuga en terreno definitivo en el distrito de Carmen Alto –Ayacucho – 2009.

ANEXO Nº 11



Fotografía Nº 5: Cosecha de lechuga var *Great Lakes* en el distrito de Carmen Alto –Ayacucho – 2009 – 2010

ANEXO Nº 12



Fotografía Nº 6: Muestras de lechuga var. *Great Lakes*, materiales y medios de cultivo en laboratorio de Microbiología Ambiental de la UNSCH –Ayacucho–2009.

ANEXO Nº 13



Fotografía Nº 7: Análisis de coliformes fecales y totales por la técnica de tubos múltiples en el laboratorio de Microbiología Ambiental de la UNSCH - Ayacucho – 2009 – 2010.

ANEXO Nº 14



Fotografía Nº 8: Análisis de Mesófilos Heterotróficos Viables por la técnica de recuento heterótrofo viable en placa, en el laboratorio de Microbiología Ambiental de la UNSCH –Ayacucho – 2009 – 2010.