



Universitat Ramon Llull

TESIS DOCTORAL

Título: Mejora de las condiciones de vida de las familias porcicultoras del Parque Porcino de Ventanilla, mediante un sistema de biodigestión y manejo integral de residuos sólidos y líquidos, Lima, Perú.

Realizada por: Ing. Albina Ruiz Ríos

Centro: Instituto Químico de Sarria

Departamento: Ingeniería Química

Dirigida por: Dr. Eduard Barberà



Universitat Ramon Llull

Esta Tesis Doctoral ha sido defendida el día ____ de _____ de 2010 en el
Centro Instituto Químico de Sarria de la Universidad Ramón Llull.

Delante del Tribunal formado por los Doctores abajo firmantes, habiendo obtenido la
calificación:

Presidente/a

Vocal

Vocal

Vocal

Secretario/aria

Doctorando/a

Albina Ruiz Ríos

A mis adorados hijos Paloma, Cesar y Xiomara,
quienes son la razón de mi existir,
por ser mis mejores y buenos amigos,
mis consejeros, mis compañeros,
por su dulzura y su amor incondicional,
por soportarme y ayudarme a crecer cada día.

AGRADECIMIENTOS

A todos los jóvenes y estudiantes que brindaron un apoyo invaluable a lo largo de estos tres años de investigación, puesta en marcha, evaluación y mejora continua de la experiencia en Ventanilla, y que hace posible la presente tesis: Mabel Almeida, Manel Gamiz, Cristina Cugat, Marlene Chuquillanqui, Ana Hummel, Juan Díaz, María Domingo, Stephen Harper, Iván Gilgado, Elena San Juan, Ignasi Salmerón, Cynthia Paiva, Danitza Tejerina, Gustavo Román, Elita Chávez, Milena Mateu, Cristina Ríos, Colin O'Laughlin, Katia Moran y Joseph Martínez.

A las familias que se involucraron en la experiencia y aportaron su energía, su conocimiento, su creatividad, por su paciencia, su cariño y el saber compartir y actuar solidariamente, por permitirnos ingresar a sus hogares: Familia Iparraguirre (Jorge y sus padres Pedro y Julia), Familia Andía Castillo (Alejandro y Umbelinda), familia Almanza Ayvar (Sixto y Cristina), Matilde Corimayhua, Crispín Alhuay, Reynaldo Cuadros, Marcos Inga, Lorenza Lobo.

Un agradecimiento especial a mi Director de tesis Eduard Barberà, por su tenacidad, sus consejos, su sapiencia, su ser amigo, su solidarizarse con las necesidades de las personas más pobres del Perú.

De igual manera a Lluís Batet, amigo, consejero, defensor de los biodigestores en Ventanilla y apoyo permanente en la búsqueda de alumnos que viajen al Perú y aporten en la experiencia, sus múltiples visitas al Perú y aportes en el campo.

A José María Ruestes y Luis Duque, por su apoyo y compañía en la puesta en marcha de la experiencia de investigación

A Eduard Ruestes por su apoyo permanente y sabios consejos, su saber compartir su experiencia en el tema.

A Rosa María Pla y Teresa Bofit mis hermanas de luz, por su hospitalidad, su compañía, su trajinar a mi lado durante los días de estudio y los sucesivos viajes realizados a España en el proceso de estudio y sustentaciones.

A Rosa Nomen por su ternura, su apoyo incondicional, por tomarse el tiempo junto a su bella familia por conocer Ventanilla y brindar sus aportes.

A Rosario Pastor por creer en el Perú y su gente e identificar oportunidades para propiciar su desarrollo.

A las fundaciones CODESPA y Roviralta, al Grupo Hábitat en la persona de Bruno Figueras, a Josep Graells, sin su apoyo financiero no hubiera sido posible, desarrollar el proceso de investigación, puesta en marcha y evaluación de la experiencia.

A todos mis profesores del doctorado por su paciencia, comprensión y sus enseñanzas.

A Xavier Flotats y August Bonmatí quienes junto a Eduard Barberà hicieron un alto en sus recargadas labores, cruzaron el charco para compartir con muchos peruanos sus conocimientos.

De forma muy pero muy especial a mi gran familia de Ciudad Saludable, a cada uno de los directivos, del consejo consultivo, de sus integrantes, por su mística, por su entrega, por hacer de Ciudad Saludable un agente de cambio, sin la ayuda de cada uno de ellos no hubiera sido posible el desarrollo de la presente tesis, principalmente de José Carlos Rodríguez, Doris Iglesias, Juan Flores y José Moreno, que además de ser compañeros de trabajo y grandes amigos, me han brindado su apoyo en las diversas tareas y viajes relacionados a mis estudios de doctorado.

SUMARIO

El presente trabajo constituye el producto de la búsqueda de una solución integral al grave problema social, económico y ambiental en que viven día a día cientos de familias asentadas en el Parque Porcino de Ventanilla, en Lima-Perú.

Se analiza, se adapta y hace viable la aplicación de las tecnologías existentes a la utilización de las excretas y orines de los cerdos y de las aguas residuales de las viviendas como materia prima para la producción de biogás y otros subproductos, que sirvan como: fuente de energía, de insumos para la producción orgánica, para el uso racional del agua, la planificación del territorio y sobre todo para la mejora de los ingresos de las familias, todo ello priorizando el uso de los recursos locales y que sea asumible por las familias para su operación, mantenimiento y réplica, lo cual ha significado trabajar en una metodología participativa involucrando a las familias en todo el proceso.

El desarrollo de la experiencia ha tenido tres fases:

- a) experimentación e investigación
- b) diseño, puesta en marcha y seguimiento de dos modelos de biodigestores: uno de obra de 15m³ de capacidad y dos de manga de 5 y 4.68 m³ respectivamente, así como del diseño, instalación y seguimiento de tres humedales artificiales y tres biohuertos, todo ello complementado con las mejoras constructivas de los corrales, gestión integral de residuos en la granja y capacitación
- c) mejora y réplica, aumentando en cinco nuevas familias y tomando en cuenta las mejoras a implementar, consiguiendo una mayor coordinación con las juntas directivas de las diversas organizaciones existentes, las instancias gubernamentales y los medios de comunicación.

En la actualidad se ha pasado de un modelo basado en la cooperación internacional a un modelo de crédito, operado a través de un banco comercial, habiendo demostrado, en esta etapa, su viabilidad con 10 nuevas familias, esta fase se viene desarrollando desde Junio del 2008 hasta la fecha.

ÍNDICE

SUMARIO	VI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS	11
2.1 MARCO TEÓRICO	13
2.1.1 LOS SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL (SGA) Y LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS	13
2.1.2 LOS RESIDUOS SÓLIDOS	14
2.1.3 CLASIFICACIÓN	15
2.1.4 IMPORTANCIA DEL MANEJO INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS	17
2.2 METODOLOGÍA Y RESULTADOS	18
2.2.1 REVISIÓN DE LAS ACCIONES IMPLEMENTADAS EN LA PRIMERA FASE	19
2.2.2 DIAGNÓSTICO DEL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS	20
2.2.3 IMPLANTACIÓN DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS	26
2.3 MANUAL DE GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL	31
3. MEJORA DE LAS GRANJAS Y DE LA ALIMENTACIÓN	35
3.1 METODOLOGÍA Y RESULTADOS	37
3.1.1 INSTALACIONES	37
3.1.2 MANEJO	38
3.1.3 ALIMENTACIÓN	38

3.1.4	SANIDAD	39
3.1.5	MEJORA GENÉTICA Y REPRODUCCIÓN	40
3.1.6	GESTIÓN DE LA GRANJA.	41
3.1.7	ASPECTO SOCIAL	41
3.2	MEJORAS IMPLEMENTADAS	42
3.2.1	DISEÑO	42
3.2.2	CONSTRUCCIÓN	44
3.2.3	CUBIERTA	46
3.2.4	INSTALACIONES DE AGUA	47
3.2.5	GESTIÓN Y MANEJO DE LAS GRANJAS	47
4.	BIODIGESTORES	55
4.1	MARCO TEÓRICO	57
4.1.1	DIGESTIÓN ANAEROBIA	57
4.1.2	PROCESO BACTERIOLÓGICO	58
4.1.3	PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO	60
4.1.4	BIODIGESTORES.	63
5.	HUMEDALES ARTIFICIALES	116
5.1	MARCO TEÓRICO	117
5.2	PARÁMETROS DE DISEÑO DEL HUMEDAL	119
5.2.1	GRADIENTE HIDRÁULICO	119
5.2.2	PROFUNDIDAD	120
5.2.3	POROSIDAD	120

5.2.4 PENDIENTE -----	120
5.2.5 TIEMPO DE RETENCIÓN -----	120
5.2.6 GEOMETRÍA DEL HUMEDAL -----	121
5.3 ACTIVIDADES PREVIAS Y COMPONENTES DEL HUMEDAL -----	123
5.3.1 SELECCIÓN DE LA UBICACIÓN -----	123
5.3.2 CONFIGURACIÓN -----	124
5.3.3 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN Y RECOGIDA -----	124
5.3.4 MEDIO GRANULAR -----	126
5.3.5 IMPERMEABILIZACIÓN -----	127
5.3.6 PLANTACIÓN -----	128
5.3.7 DIMENSIONES DE LOS HUMEDALES -----	129
5.4 CONSTRUCCIÓN DEL HUMEDAL -----	131
5.4.1 LIMPIEZA Y ESTABLECIMIENTO DE UNA PLATAFORMA DE TRABAJO. -----	131
5.4.2 TRAZADO Y REPLANTEO. -----	131
5.4.3 EXCAVACIÓN Y MOVIMIENTO DE TIERRAS. -----	132
5.4.4 PREPARACIÓN DE REFUERZOS LATERALES DE MADERA -----	133
5.4.5 INSTALACIÓN DE REFUERZOS LATERALES DE MADERA Y NIVELACIÓN -----	134
5.4.6 INSTALACIÓN DEL TANQUE DE REPARTICIÓN DE CAUDAL -----	137
5.4.7 TANQUES DE SEDIMENTACIÓN Y DE RECOLECCIÓN DE AGUA TRATADA -----	137
5.4.8 CONEXIÓN DE ENTRADA DEL HUMEDAL -----	141
5.4.9 CONEXIÓN DE SALIDA DEL HUMEDAL -----	143

5.4.10 IMPERMEABILIZACIÓN	144
5.4.11 COLOCACIÓN DEL SUSTRATO (MATERIAL FILTRANTE)	145
5.4.12 VEGETACIÓN	147
5.5 MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN	148
5.5.1 INSPECCIONES INICIALES Y PRUEBAS	148
5.5.2 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES	149
5.5.3 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL TANQUE DE SEDIMENTACIÓN	152
5.5.4 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL TANQUE DE REPARTICIÓN DE CAUDAL	153
5.5.5 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL TANQUE DE RECOLECCIÓN DE AGUA TRATADA	153
5.6 ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS Y DE MONITORIZACIÓN	154
5.7 COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL	155
6. BIOHUERTOS Y AREAS PRODUCTIVAS	159
6.1 MARCO TEÓRICO	160
6.2 INSTALACIÓN DEL BIOHUERTO	161
6.3 MATERIALES Y CONDICIONES BÁSICAS PARA PRODUCIR EN EL BIOHUERTO	163
6.4 HERRAMIENTAS Y EQUIPO BÁSICO	165
6.5 PREPARACIÓN DEL SUELO EN EL BIOHUERTO	166
6.6 LA SIEMBRA EN EL BIOHUERTO	169
6.7 TIPOS DE SIEMBRA	171
6.8 ABONO DEL BIOHUERTO	175

6.9	SUSTRATOS USADOS EN EL BIOHUERTO	176
6.10	VALOR NUTRITIVO DE LAS HORTALIZAS	180
7.	CONCLUSIONES	182
8.	BIBLIOGRAFIA	186
	ANEXOS	195

1. INTRODUCCIÓN

La precariedad de las sociedades, la falta de equidad en el reparto de la riqueza que se genera en la mayoría de países, la inoperancia de muchos gobernantes, la insensibilidad de muchos ciudadanos, la corrupción y una serie de factores más, hace que no existan oportunidades laborales dignas para todos los ciudadanos. Esto lleva a que miles de habitantes en el planeta se ingenien para generarse su propio empleo, a veces, poniendo en riesgo su integridad moral, física y mental, no sólo de ellos sino de todos los miembros de sus familias. Los habitantes del Parque Porcino de Ventanilla son una buena muestra de ello.

El Parque Porcino de Ventanilla (situado en el Distrito de Ventanilla a las afueras de la provincia del Callao) presenta un panorama desolador por lo que al aspecto urbanístico, ambiental y de salud pública se refiere. Uno de los graves problemas es la inadecuada gestión de los residuos sólidos y líquidos.

El parque está ubicado entre las coordenadas geográficas 11° 20' y 12° 15' de latitud sur y 76° 24' y 77° 10' de longitud oeste, limitando por el norte con la cuenca del río Chancay, por el sur con la cuenca del río Rímac, por el este con la cuenca del río Mantaro y por el oeste con el litoral peruano, formando parte del departamento de Lima (UNALM y ARC, 2005).

Políticamente se localiza en el Distrito de Ventanilla de la Región Callao - Provincia Constitucional del Callao, sobre la margen derecha del río Chillón en forma paralela y a 2.0 km. de la Avenida Néstor Gambetta (figuras 1 y 2). Su área total es de 845 ha y cuenta con una población estimada de 6100 habitantes.

Su constitución se produjo en el año 1969, cuando el Ministerio de Agricultura y Pesquería gestionó la afectación de las tierras respectivas a fin de que la Dirección General de Promoción Agropecuaria desarrollase un proyecto de crianza de ganado porcino estableciéndose en el parque, el cual tendría una capacidad de soporte ganadero de 100,000 animales, estimándose una producción de carne de 20,000 toneladas anuales destinadas al mercado de la ciudad de Lima. Posteriormente en el año 1974 fue inaugurado (UNALM y ARC, 2005), pero nunca ha contado con el apoyo y asesoramiento suficiente de las autoridades para su desarrollo integral. En consecuencia, existe una grave carencia de servicios básicos en la mayor parte del parque (agua, saneamiento, electricidad, centros de salud y educativos, mercados, etc.), lo que, unido a

las condiciones ambientales generadas por las actividades pecuarias, determina una baja calidad de vida, con serios problemas sanitarios y ambientales.

La población de la zona, en su mayoría procedente de la Sierra del Perú, se dedica principalmente a la crianza de cerdos, ganado vacuno, cabras y aves de corral. La actividad de segregación de basura en el río Chillón también concentra alguna población, ya dedicada exclusivamente a esta actividad o a una actividad mixta con la crianza de ganado porcino y vacuno.

Cuarenta y cinco años de historia en el parque, no han sido suficientes para que se consolide como una unidad altamente productiva, estable, segura y con proyección de su producción a los mercados internacionales, por el contrario la población ha aumentado y sus condiciones de habitabilidad han ido desmejorándose, situación que se agrava por la inexistencia de los servicios básicos.

El parque porcino comprende trece Sectores Poblacionales y dos Ampliaciones; los sectores están numerados del I al XIII; la primera ampliación, tiene cinco zonas, denominadas A, B, C, D y E. Mientras que la segunda ampliación tiene dos zonas, denominadas F y G.

En la actualidad el parque, cuenta con un solo ingreso vehicular, a través de la Av. Chillón en un recorrido de aproximadamente 2.1 km hasta el cruce con la avenida central que es la vía principal que interconecta todos los sectores del parque subiendo en una longitud de 6 km, hasta la ampliación D (UNALM y ARC, 2005).

El transporte público se realiza mediante moto taxis informales que tienen su paradero en la intersección de la Av. Chillón con la Av. Néstor Gambeta; el servicio de estos vehículos representa serios riesgos para la integridad de los usuarios, por ser vehículos livianos de poca estabilidad (UNALM y ARC, 2005).

Fig. 1 Mapa de Lima y distritos que incluye Ventanilla



Fig. 2 Imagen aérea del Parque Porcino de Ventanilla



El abastecimiento de agua se realiza mediante una red de distribución, sólo cuando los equipos funcionan correctamente, beneficiando únicamente a las zonas más bajas y cercanas al río Chillón, esto es, los sectores 13 al 9 y parte del 8.

La infraestructura consiste en un pozo tubular de 50 m de profundidad, en la ribera derecha del río Chillón, desde el que se eleva el agua extraída hasta un depósito elevado de hormigón de 2000 m³. Desde este depósito parte la red de suministro, que consiste en 1,9 km de tubería de asbesto-cemento y hierro negro. Existe un segundo pozo pero nunca estuvo operativo, ya que carece de equipo de bombeo.

Según un estudio de COORDECALLAO de 1994, los tipos de abastecimiento de agua del Parque Porcino son los que se muestra en el cuadro 1:

Cuadro 1 Tipos de abastecimiento de agua en el Parque Porcino

TIPO DE ABASTECIMIENTO	%
Camión cisterna	62.4
Red pública dentro de la vivienda	22.3
Pozo	9.0
Red pública fuera de la vivienda	2.8
Río, acequia, manantial	1.5
Pilón de uso público	1.3
Otros	0.7

El agua que se abastece por el camión cisterna no está garantizada como apta para el consumo humano. Su costo es elevado, por ejemplo en Ampliación, la zona de más difícil acceso, el costo es de 70 soles (3.10 soles = 1 dólar, en febrero de 2009) por tanque (unos 8 m³), es decir, aproximadamente 9 soles/m³, mientras que el agua de red tiene un costo de 2 soles/m³ en la zona 13 (pero tampoco es apta para el consumo humano). El agua suministrada por los camiones cisterna se almacena en pozos de hormigón, que suelen estar agrietados y presentan fugas, o en bidones de plástico. Ambos tipos de depósito no están siempre correctamente cubiertos y debidamente clorados, con lo que proliferan insectos propios de las aguas estancadas, los cuales son potenciales transmisores de enfermedades. Esta agua se emplea directamente para lavar, regar y para el consumo de los animales. Para el consumo humano, se hierve esta agua o se trae directamente embotellada desde algún centro urbano como Lima o Ventanilla. A la hora de almacenar el agua tratada sí se presta más atención para que los recipientes permanezcan tapados.

No existe instalación de red pública de alcantarillado. El 53% de las viviendas conecta sus desagües a un pozo seco, el 4,6% cuenta con red de desagüe instalada por los pobladores y una minoría (1,3%) conecta sus desagües directamente a acequias y canales. El resto no cuenta con servicios higiénicos.

Las deficiencias en el suministro de agua y la falta de saneamiento deterioran las condiciones de salubridad, aumentando el riesgo para personas y animales de contraer enfermedades de origen hídrico (por falta de agua y/o uso de agua contaminada) como cólera o diarrea, e impidiendo el desarrollo económico del Parque.

En este entorno es difícil el establecimiento y crecimiento de actividades empresariales, ligadas o no a las actividades pecuarias, así como la existencia de servicios como centros de salud y colegios (sólo existe un centro de salud a la entrada del Parque Porcino y un centro educativo en la zona 10).

La avenida Chillón, con unos 2 km de longitud, cuenta con alumbrado público y redes eléctricas que suministran energía, de forma ilegal, a los asentamientos y viviendas cercanos a la vía. La red de alumbrado público alimenta luminarias (farolas) que emplean lámparas de vapor de sodio de 150 W de potencia nominal.

En esta avenida se encuentran instaladas redes primarias, subestaciones de distribución, redes secundarias y conexiones de alumbrado público, que si estuvieran operativas permitirían la electrificación del Parque Porcino. Aunque la red primaria que se encuentra disponible actualmente no tiene capacidad suficiente para abastecer la energía eléctrica que demanda el Parque Porcino.

Existen unas treinta conexiones provisionales y precarias en los sectores 11 y 13, sectores que están más próximos a la red primaria. No existe alumbrado en las calles y caminos del parque, lo que facilita que se registren altos índices de delincuencia.

La falta de suministro se debe, en parte, a que la mayoría de pobladores no posee título de propiedad u otra documentación legal que les permita ser reconocidos como dueños de sus terrenos.

La electrificación del Parque se trata pues de una cuestión de voluntad política, ya que la Central Térmica de Ventanilla, sus redes de alta tensión (220 KV) y sus subestaciones se encuentran en las inmediaciones del Parque. Esta central, que se alimenta de gas natural procedente de Camisea, tiene una capacidad de 300 MW y pertenece a la

empresa ETEVENSA (Empresa de Generación Termo Eléctrica Ventanilla S.A.), si bien el servicio de la energía eléctrica está bajo la jurisdicción de EDELNOR.

Algunos de los pobladores, asociados para conseguir su conexión a la red, intentaron sin éxito que se llevara a cabo un proyecto de electrificación. En la actualidad se encuentran en trámites de regularización de sus títulos de propiedad, pero se trata de un proceso largo y complicado.

La mayoría de los habitantes del Parque utiliza velas, lámparas incandescentes de kerosén y sólo unos pocos emplean pequeños grupos electrógenos, ya que el costo del combustible es elevado.

En definitiva, muy pocos de los pobladores del Parque cuentan con acceso a la electricidad. Esta falta de suministro imposibilita el desarrollo social, cultural y económico del Parque y crea limitaciones, especialmente para las personas en edad escolar.

La mayoría de las viviendas son construcciones precarias, siendo los materiales empleados (en orden de utilización): madera, lata, ladrillos de diferentes tipos, parihuelas (palés). En menor medida se emplean: esteras, cartones, alambres, toldos, calamina (fibrocemento, para los techos) y cemento (sólo para suelos). Algunos de estos materiales son de baja calidad, porque en buena medida han sido reciclados por los pobladores.

Muchas de las viviendas responden al modelo de casa-granja, si bien existen lotes (parcelas) de producción porcina en los que el dueño no reside y lotes en los que no hay producción pecuaria. Raras veces existe una distancia adecuada entre la vivienda y los corrales, lo que provoca unas condiciones de baja salubridad. En la mitad de los casos, el suelo de las viviendas es el propio terreno, en el resto es de cemento y algunos son de madera o piedra. Se cocina con leña, kerosén y GLP.

Las condiciones de iluminación, ventilación, circulación y privacidad están ausentes en la mayoría de las viviendas visitadas, siendo probablemente estas condiciones las más generalizadas en la totalidad de viviendas en el Parque Porcino.

Las condiciones son precarias en gran parte de lotes construidos y de éstos, la mayoría presenta serias deficiencias para su habitabilidad.

Existe un servicio de policía irregular, deficiente y sin horario, siendo frecuentes los robos, sobre todo de animales, y el riesgo permanente para la integridad física de los productores y de sus familias. En algunos sectores, los propios porcicultores se ocupan de la vigilancia nocturna, realizando turnos y bloqueando carreteras y caminos. En muchos casos, ante la ineficacia y desidia de las autoridades locales, toman la justicia por su mano.

Poco más de la mitad de los porcicultores comercializa los animales en vivo, otros lo venden en el camal (matadero) mediante intermediarios y, frecuentemente, se venden a “ojeadores” y compradores informales que aparecen por el parque con camiones listos para ser llenados de cerdos.

El precio promedio para la venta en pie (vivo) es actualmente de 5 soles por kg y casi todos los porcicultores comercializan de esta forma los animales, ya que el precio por el animal ya beneficiado (muerto) es menor.

En ocasiones de necesidad se venden los animales independientemente del tamaño que tengan, ya que es una forma rápida de conseguir ingresos, si bien no consiguen la cantidad justa que se debería pagar por el animal cuando el comprador intuye la urgencia y la necesidad de vender.

La constitución de una asociación fuerte y unida de porcicultores podría mejorar los precios en el camal (matadero), facilitar la adquisición de alimentos balanceados (piensos) a precios asequibles, la adquisición de una fábrica de procesado de alimentos gestionada por ellos mismos o la instalación de su propio camal. Pero lamentablemente están divididos, existiendo tres asociaciones mal avenidas.

Aunque existen unas pocas granjas que se encuentren tecnificadas, en la mayoría de los casos los corrales están contruidos con parihuelas de madera (palés) y el suelo es de tierra. En otras, los corrales son de cemento, pero el techo suele ser de esteras o plástico y, en menor medida se emplea cartón, alambres y latas.

El espacio de los corrales suele estar subempleado y no suele estar diseñado ni planificado según criterios técnicos. Algunos porcicultores sí tienen separados por zonas a los animales (maternidad, destete, cría, gorrinas, verraco). La mayoría de los porcicultores no posee los conocimientos adecuados ni ha recibido capacitación para la adecuada crianza de los animales. No conocen en profundidad las vacunas y los medicamentos que deben suministrar a los animales, abusando de los antibióticos la mayoría de las veces. Muy pocos contratan veterinarios para que les ayuden con la resolución de problemas con los animales, sin embargo, la mayoría participa en los programas de vacunación. Muy pocos llevan un registro escrito de los parámetros de la granja (fecha de nacimiento, número de crías por camada y madre, número de madres cubiertas por verraco, peso a distintas edades, mortalidad,...), con lo que resulta difícil evaluar la marcha de la granja y efectuar y evaluar mejoras. Tampoco llevan un registro del dinero que invierten, los costes que tienen ni la rentabilidad de la granja.

La alimentación de los animales es uno de los factores críticos del Parque. Para muchos de los porcicultores, especialmente para aquéllos cuyas granjas están menos tecnificadas, el coste de los piensos (alimento balanceado) es demasiado elevado, de modo que alimentan a sus cerdos con residuos orgánicos de restaurantes. Esta práctica es ilegal e insegura, a no ser que se traten convenientemente estos residuos, mediante una cocción de al menos 15 minutos, lo cual es poco frecuente, ya que implica costos añadidos de combustible y tiempo.

Los desechos de los restaurantes tanto de Lima y del Callao son recolectados y comprados por los porcicultores para que sirvan de alimento a muchos de los cerdos que allí se crían (unos pocos ganaderos alimentan a sus cerdos con piensos concentrados).

Estos residuos contienen toda clase de elementos, de manera que la parte inorgánica, que evidentemente es rechazada por los animales, se va acumulando en el lugar.

Las heces de los cerdos se apilan sin ningún control y son incineradas poco a poco. Son innumerables los problemas ambientales que esto origina, pero son aún más importantes los problemas para la salud y el bienestar de la población.

Los márgenes del río cercano (Chillón) son auténticos botaderos incontrolados, contaminando así una de las fuentes de agua potable de toda la provincia del Lima y el Callao.

Enfermedades, plagas, malos olores, pobreza... son algunas de las características que el Parque Porcino presenta, y todo ello con una actividad que introduce un alimento como es la carne de cerdo dentro del mercado peruano, de manera que cualquier problema de salud que adquiera el animal puede ser un problema potencial para los futuros consumidores, que se pueden encontrar en cualquier punto de Lima o Callao.

Con el fin de mejorar las condiciones de vida de la población del parque y dentro del proyecto que viene gestionando la ONG Ciudad Saludable se pretende trabajar en la mejora de la gestión de los residuos sólidos, en la mejora de las granjas y de los planes de manejo y alimentación de los cerdos, en el tratamiento de los residuos sólidos y líquidos con el fin de mejorar las condiciones sanitarias y obtener subproductos susceptibles de ser utilizados.

2. GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

Las observaciones de campo, realizadas en las casas granjas de las zonas 10, 13 y B del Parque Porcino en el distrito de Ventanilla, permitieron la identificación de los siguientes problemas:

- Inexistencia de un Sistema de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos (SGARS).
- Competitividad limitada. Al no tener un eficiente manejo integral de sus actividades y al no cumplir con la normativa y reglamentación ambiental vigente en el país.

En consecuencia, se pretende desarrollar, implantar y revisar un SGARS del Parque Porcino en sus zonas 10, 13 y B de acuerdo con la legislación existente en el Perú, básicamente la Ley General del Ambiente N° 28611 y Ley General de Residuos Sólidos N° 27314.

Con este fin se han realizado las acciones siguientes:

- Identificación de los problemas medioambientales significativos relacionados al manejo y disposición de los residuos sólidos
- Elaboración de una política medioambiental, objetivos, planificación e implantación del SGARS en la zona 10, 13 y B del Parque
- Elaboración de documentos, manuales e instructivos necesarios para el cumplimiento del SGARS.
- Realización de capacitaciones y de concienciación a las familias beneficiarias del proyecto.
- Diseño de un sistema de seguimiento por las propias familias o por un líder del Parque.

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Los Sistemas de Gestión Ambiental (SGA) y la gestión de los residuos sólidos

La Ley 28611, en su Art. 13° de Gestión Ambiental, define la gestión ambiental como un proceso permanente y continuo, constituido por un conjunto estructurado de principios, normas técnicas, procesos y actividades, orientado a administrar los intereses, expectativas y recursos relacionados con los objetivos de la política ambiental y alcanzar así, una mejor calidad de vida y el desarrollo integral de la población, el desarrollo de las actividades económicas y la conservación del patrimonio ambiental y natural del país.

La misma ley en su Art. 17° de Gestión Ambiental, define que los instrumentos de gestión ambiental podrán ser de planificación, promoción, prevención, control, corrección, información, financiamiento, participación, fiscalización, entre otros, rigiéndose por sus normas legales respectivas y por sus principios. Como por ejemplo la evaluación del impacto ambiental; la certificación ambiental; estrategias, planes y programas de prevención, adecuación, control y remediación; los planes integrales de gestión de residuos; los instrumentos orientados a conservar los recursos naturales; entre otros.

Según Tchobanoglus (1998), la gestión integral de los residuos sólidos es la disciplina asociada al control de la generación, almacenamiento, recolección, transferencia y transporte, procesamiento y evacuación de residuos sólidos de una forma que armoniza con los mejores principios de la salud pública, de la economía, de la ingeniería, de la conservación, de la estética y de otras consideraciones ambientales.

La Ley 28611, en su Art. 119° del manejo de los residuos sólidos, define la gestión de los residuos sólidos de origen doméstico, comercial o que siendo de origen distinto presenten características similares a aquellos, son de responsabilidad de los gobiernos locales. La gestión de los residuos sólidos distintos a los señalados en el párrafo precedente son de responsabilidad del generador hasta su adecuada disposición final, bajo las condiciones de control y supervisión establecidas en la legislación vigente.

2.1.2 Los residuos sólidos

Son residuos sólidos todas aquellas sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido de los que su generador dispone, o está obligado a disponer, en virtud de lo establecido en la normatividad nacional o de los riesgos que causan a la salud y el ambiente, para ser manejados a través de un sistema que incluya, según corresponda, las siguientes operaciones o procesos: minimización de residuos, segregación en la fuente, reaprovechamiento, almacenamiento, recolección, comercialización, transporte, tratamiento, transferencia y disposición final. Esta definición incluye a los residuos generados por eventos naturales (Ley 27314, Ley general de Residuos Sólidos).

Los residuos son originados por los organismos vivos, como desechos de las funciones que éstos realizan, por los fenómenos naturales derivados de los ciclos y por la acción directa del hombre, donde se encuentran los residuos más peligrosos para el medio ambiente pues muchos de ellos tienen un efecto negativo y prolongado en el entorno, lo cual viene dado en muchos casos por la propia naturaleza físico-química de los desechos (Fernández y Sánchez, 2007).

2.1.3 Clasificación

La Ley N°27314, Ley general de Residuos sólidos, asume una clasificación según su origen, por ello señala la siguiente clasificación:

- a) Residuo domiciliario
- b) Residuo comercial
- c) Residuo de limpieza de espacios públicos
- d) Residuo de establecimiento de atención de salud
- e) Residuo industrial
- f) Residuo de las actividades de construcción
- g) Residuo agropecuario
- h) Residuo de instalaciones o actividades especiales.

Los residuos sólidos se pueden clasificar de diversas formas y criterios, en dependencia de la importancia que revisten la utilidad, la peligrosidad, fuente de producción, posibilidades de tratamiento, tipo de materiales, entre otros (Fernández y Sánchez, 2007) (ver cuadro 2).

Cuadro 2. Clasificación de los residuos sólidos (en base a Fernández y Sánchez, 2007)

Por su composición química	Orgánicos	De origen biológico, el agua constituye su principal componente y están formados por los residuos y los desechos de origen alimenticio, estiércol y/o animales pequeños muertos. Estos productos, todos putrescibles, originan, durante el proceso de fermentación, malos olores y representan una fuente importante de atracción para los vectores.
	Inorgánicos	Que no pueden ser degradados o desdoblados naturalmente o bien si esto es posible sufren una descomposición demasiado lenta. Estos residuos provienen de minerales y productos sintéticos, por ejemplo: metales, plásticos, vidrios, cristales, cartones plastificados, pilas, etc.
Por su utilidad económica	Reciclables	Reutilizados como materia prima al incorporarlos a los procesos productivos.
	No reciclables	Por su característica o por la no-disponibilidad de tecnologías de reciclaje, no se pueden reutilizar.
Por su origen	Domiciliarios	Procedentes de residencias, albergues, hoteles, como residuos de cocina, restos de alimentos, embalajes, papel de todo tipo, cartón, plásticos de todo tipo, textiles, goma, cuero, madera, restos de jardín, vidrios, cerámica, latas, aluminio, metales férreos, suciedad y cenizas. Son los artículos voluminosos, electrodomésticos de consumo, productos de línea blanca, baterías, aceites y neumáticos.
	Comerciales	Generados por las actividades comerciales y del sector de servicios, residuos de comida, papel de todo tipo, cartón, plásticos de todo tipo, textiles, goma, cuero, madera, restos de jardín, vidrios, cerámica, latas, aluminio, metales férreos y suciedad.
	Constructivos	Originados por las construcciones, las remodelaciones, las excavaciones u otro tipo de actividad destinada a estos fines, los residuos de madera, acero, hormigón, suciedad, escombros.
	Industriales	Residuos de procesos industriales, son muy variados en dependencia del tipo de industria, pueden ser metalúrgicos, químicos, entre otros; y se pueden presentar en diversas formas como cenizas, lodos, materiales de chatarra plásticos y restos de minerales originales.
	Hospitalarios	Generados en centros de salud, generalmente contienen vectores patógenos de difícil control. El manejo de estos residuos debe ser muy controlado y va desde la clasificación de los mismos, hasta la disposición final de las cenizas pasando por el adecuado manejo de los incineradores y el correcto traslado de los residuos seleccionados.
	Agrícolas	Por lo variado de su composición pueden ser clasificados como orgánicos o inorgánicos, puesto que mayormente son de origen animal o vegetal y son el resultado de la actividad agrícola. En este grupo se incluyen los restos de fertilizantes inorgánicos que se utilizan para los cultivos.
Por el riesgo	Peligrosos	Residuos o combinaciones de residuos que representan una amenaza sustancial, presente o potencial a la salud pública o a los organismos vivos.
	Inertes	Generados en nuestra ciudad, como pueden ser tierras, escombros, etc., también denominados residuos de construcción y demolición.
	No inertes	Características tales como inflamabilidad, corrosividad, reactividad, y toxicidad

2.1.4 Importancia del manejo integral de los residuos sólidos

La problemática del manejo integral de los residuos sólidos está acompañada de oportunidades para el desarrollo sostenible, no sólo por el ahorro de los pasivos ambientales y los gastos en salud, sino también por las ventajas económicas y sociales producidas por la recuperación de materiales comerciales, la generación de nuevas fuentes de empleo y el aumento de la gobernabilidad (Fernández y Sánchez, 2007).

El manejo de los residuos sólidos origina también impactos económicos importantes asociados a los costos para su tratamiento y disposición final. La manera de encarar la problemática está relacionada con los conceptos actuales de evitarlos y minimizarlos (Fernández y Sánchez, 2007).

La generación de gases y otras sustancias derivadas del proceso de descomposición de las fracciones orgánicas y a la combustión espontánea de estos gases, se producen sustancias altamente nocivas para la salud y el medio ambiente (Fernández y Sánchez, 2007).

Los residuos sólidos contribuyen también a la contaminación de los ríos y acuíferos subterráneos –por la infiltración en el suelo de los lixiviados y por el arrastre de las lluvias-, llegando a incidir en la calidad de las aguas marítimas, contaminando las reservas disponibles de agua y provocando el agotamiento de los espacios para disponer los residuos así como el encarecimiento de los costos de tratamiento, entre otros efectos (Fernández y Sánchez, 2007).

2.2 METODOLOGÍA Y RESULTADOS

Se elaboró una encuesta dirigida a los dueños de las ocho casas granjas beneficiarias, que permitió obtener información general de sus actividades, del funcionamiento y cumplimiento inicial de las recomendaciones brindadas para el manejo de los residuos sólidos a las tres primeras granjas, asimismo del manejo actual y disposición de sus residuos sólidos (RS) en las cinco nuevas.

Se han elaborado fichas de caracterización de RS, encuestas de procedencia de los RS orgánicos usados para la alimentación del ganado y encuestas a segregadores de RS en los restaurantes.

Para cumplimentar las fichas de caracterización de RS, se dejaron bolsas vacías a los dueños de las granjas destinadas a contener los RS recolectados del día y se recogieron las bolsas llenas al día siguiente. Se procedió a la caracterización y pesado correspondiente, repitiendo el mismo proceso durante ocho días.

Las encuestas de procedencia de los residuos orgánicos usados para la alimentación del ganado en el parque porcino, se realizaron en las 20 zonas del parque porcino, no sin antes determinar el número de muestras:

- nivel de confiabilidad del 95%
- error permisible de 5% según tablas
- desviación estándar de la variable de 20%

Utilizando la formula:

$$n = \frac{v^2}{\left(\frac{E^2}{(1.96)^2} + \frac{v^2}{N} \right)}$$

Donde:

n = Número de muestra

v = Desviación estándar de la variable (tablas)

E = Error permisible (tabla)

N= Número total de casas granjas según informe de los directivos.

Reemplazando los valores, se tiene:

$$n = 61.465 = 62 \text{ encuestas.}$$

Estas encuestas permitieron obtener información sobre las características, el precio, periodos de tiempo, condiciones del alimento que compran y la procedencia de los residuos. Con el objetivo de dar capacitaciones a los centros proveedores para que realicen una selección más exhaustiva de sus residuos, de esta manera llegue la comida selecta y fresca al parque porcino.

Las encuestas a segregadores de RS se realizaron en restaurantes del centro de Lima a las 20:00 h, encontrando varios segregadores que proporcionaron información acerca de las características de los residuos orgánicos que recolectan, el precio o convenio con los restaurantes, ventajas, desventajas, permisos, problemas con la municipalidad, entre otros.

A continuación se muestran los resultados de los diagnósticos, provenientes de los instrumentos utilizados, encuestas, entrevistas, fichas de caracterización y las acciones iniciales desarrolladas en tres granjas del parque porcino de Ventanilla.

2.2.1 Revisión de las acciones implementadas en la primera fase

En la fase inicial de trabajo con las 3 granjas se recomendó tener un centro de acopio y que colocaran sacos o bolsas para almacenar sus residuos reciclables, sin embargo se pudo observar que los beneficiarios no hacen uso eficaz de los centros de acopio y menos de la ubicación establecida en la primera fase, en una de las granjas los sacos para almacenar los RS fueron reemplazados por cilindros viejos y en muy mal estado, los materiales son acumulados por mucho tiempo generando contaminación y una mala imagen estética, en los otros dos casos los residuos son botados en diferentes lugares de la granja sin ningún control (ver fotos 1 y 2).



Foto 1 y Foto 2 Manejo de los residuos en la granja de Jorge Iparraguirre al inicio de la experiencia

2.2.2 Diagnóstico del manejo de residuos sólidos

El manejo de residuos sólidos del sector en general es preocupante, no existe un adecuado almacenamiento y disposición de los residuos, menos alguna clasificación y recojo por medio de alguna institución o municipio, sólo existen segregadores informales (llamados basureros) que entran al parque porcino a comprar material reciclable, como por ejemplo latas, plásticos, vidrios, papel, entre otros.

El 75 % de los beneficiarios separa la basura, las botellas plásticas, tapas de plástico papeles y cartones, huesos y latas, que acumulan y venden a los segregadores informales (ver fotos 3 y 4).



Foto 3 y Foto 4 Separación de los residuos para su posterior venta

La basura que no se puede vender, como las bolsas plásticas, pañales, jeringas, material medicinal, residuos orgánicos que no comen sus animales y en algunos casos hasta cerdos enfermos son quemados en un 62%, enterrados en un 13% y hasta

botados en un 25% (figura 3) en zonas aledañas sin ninguna restricción llegando a contaminar el aire que ellos mismos respiran.

La quema la realizan cada semana o cada dos semanas dependiendo de la cantidad de residuos (ver fotos 5 y 6), en la zona se observa la cantidad incontrolable de residuos que queman por las noches en un botadero clandestino, algunos vecinos han presentado quejas a la municipalidad sin embargo ésta no hace caso a sus peticiones.

Fig. 3 Disposición de los residuos sólidos.

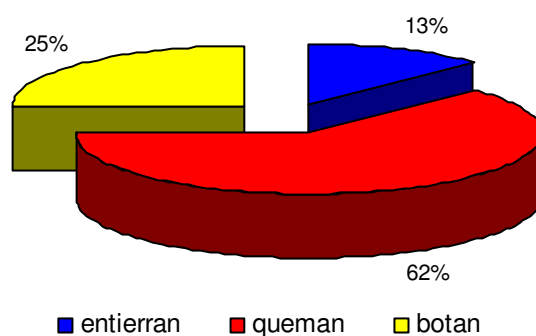


Foto 5 y Foto 6, permanente quema de los residuos en el Parque Porcino

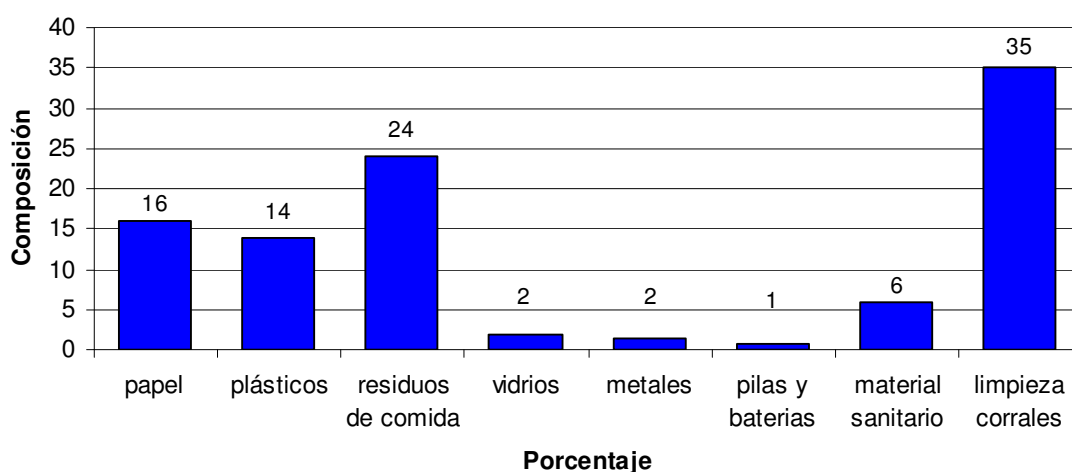
Se realizó la caracterización y pesaje de los residuos sólidos de las ocho granjas beneficiarias en la primera fase, en el cuadro 3 y figura 4, se muestran los valores obtenidos.

Cuadro 3 Generación de residuos sólidos según su composición.

Material	Peso [Kg x día]	Composición porcentual [%]
Papel	0.81	16
Plásticos liviano	0.72	14
Materia orgánica	1.22	24
Vidrios	0.12	2
Metales	0.09	2
Pilas	0.05	1
Material sanitario	0.29	6
Limpieza corrales	1.75	35
TOTAL	5	100

La mayoría de las granjas no depositaban los residuos, botellas plásticas, vidrios y latas de conservas o metales en las bolsas que se les entregaba diariamente porque no lo consideran basura o residuo ya que obtienen ingresos económicos por la venta de los mismos.

Fig. 4 Generación de residuos sólidos



La cantidad de materia orgánica (residuos de comida), descrita en la figura 4, representa los cítricos (limones y naranjas) que los porcinos no comen, los beneficiarios separan estos residuos para ser quemados, sin embargo el resto de residuos orgánicos generados en la granja son utilizados para la alimentación de su ganado.

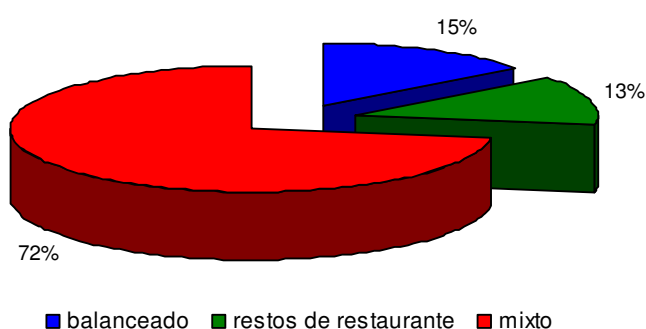
En el caso del material sanitario, la mayoría cuenta con letrinas y este material es depositado en las mismas letrinas.

Para implantar planes de capacitación y segregación de residuos en restaurantes, fue necesario hacer una encuesta que diera a conocer los restaurantes proveedores de alimentos del parque porcino para identificar el grupo objetivo a ser capacitado.

De las 62 encuestas realizadas en las 20 zonas del parque porcino, se obtuvieron los siguientes resultados.

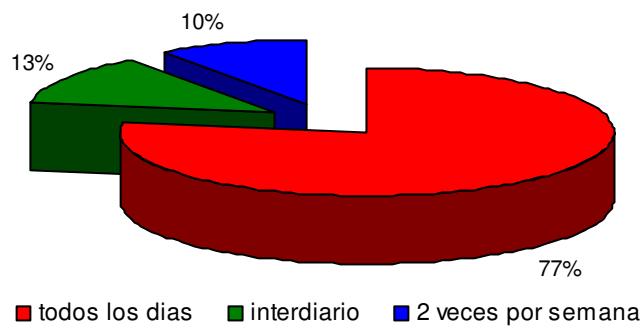
El 92% de los granjeros son propietarios, el 87% de los granjeros tiene de 1 a 20 marranas, el 72 % tiene de 1 a 3 verracos, el 46% de 1 a 20 lechones y el 48% de 1 a 10 gorrinos, el 82% tiene otras especies de animales como por ejemplo, patos, gallinas, cuyes, perros, gatos, entre otros. Varios de los granjeros han sufrido robos, asaltos y estafas, perdiendo el total de su ganado, por lo que se mostraban incómodos, tímidos y en algunos casos agresivos con la información requerida.

Fig. 5 Tipo de comida que utilizan para la alimentación del ganado



En la Figura 5, se muestra que el 72 % de los granjeros utiliza la alimentación mixta que incluye la alimentación para los lechones con comida balanceada, el afrecho, siendo su precio de 30 soles el saco de 40 Kg y el de engorde, de 50 a 67 soles el saco de 40 Kg que dura aproximadamente dos días si tiene alrededor de 21 lechones, estos productos adquieren por la zona y la alimentación para los gorrinos, verracos y marranas con residuos de restaurantes con un costo de 20 a 25 soles por cilindro (200 L) que cubre el flete por el servicio de recolección y transporte, en algunos casos los granjeros buscan sus propios proveedores de residuos y contratan este servicio de flete a sólo 8 soles el cilindro de 200 L.

Figura 6. Periodo de compra de residuos de restaurantes



Como se puede observar en la figura 6 sólo el 77% de los granjeros realiza la compra de los restos de restaurante todos los días, el restante lo hace en días alternos o dos veces por semana, manteniendo el residuo sin ningún tipo de refrigeración convirtiéndose en medio de cultivo bacteriano y creando un ambiente propicio para la proliferación de vectores que impide la calidad en el desarrollo del ganado.

Esta comida a su vez llega en un 61% con restos de plásticos, tapas de refrescos, cubiertos de plástico, servilletas, entre otros. Los granjeros separan este residuo antes de darles de comer a sus animales perdiendo alrededor de 30 a 60 minutos en la separación de los residuos inservibles, que son acumulados para ser quemados en un 68% y el restante 32% es botado al suelo, sin ningún control.

Los granjeros piden a los segregadores de restaurantes que les lleven la comida más limpia, fresca, sin muchos cítricos, sin servilletas, sin plásticos y sin huesos, pero pese a que han incrementado el pago les siguen dando alimento con residuos de otro tipo, sólo el 64% de los granjeros pagaría menos de 5 soles por mejorar la calidad de la comida, el restante 36% está dispuestos a pagar entre 5 a 10 soles dependiendo de la calidad.

Se realizaron encuestas a los segregadores de residuos de restaurantes del centro de Lima, obteniendo los siguientes resultados:

La cantidad de cilindros que recogen diariamente fluctúa entre 1 a 10 cilindros de 200 L, de un promedio de 15 restaurantes, el trato o convenio que tienen con los propietarios de los restaurantes es un intercambio en especie es decir a fin de año los granjeros les dan un lechón de aproximadamente 10 Kg., en algunos casos cada cierto tiempo hacen un mantenimiento y limpieza a las cocinas de los restaurantes, el convenio o trato depende mucho del restaurante.



Foto 7 y Foto 8, muestran los residuos orgánicos que llegan de los restaurantes y que los porcicultores adquieren para alimentar sus cerdos.

Los residuos de restaurante (fotos 7 y 8) contienen materiales como: bolsas plásticas, tapas de refrescos, servilletas, huesos, cubiertos de plástico entre otros. Los segregadores tienen problemas con la municipalidad y la policía al momento de recoger los residuos porque los requisitos que pone la municipalidad para esta actividad son muy estrictos teniendo que tener un vehículo del año, debe ser herméticamente cerrado, entrar a cierta hora al centro de Lima, y pagar el pase de 45 soles por mes, lo que imposibilita a los segregadores a tener este permiso.

Como resultado de las encuestas realizadas al Parque Porcino con el objetivo de identificar el grupo a capacitar se puede concluir que la mejor manera de llegar a todos los restaurantes es con un convenio con la municipalidad y Ciudad Saludable mediante el proyecto piloto “Programa de Formalización de Segregadores y Recolección Selectiva de Residuos Sólidos en el Callao” que Ciudad Saludable viene ejecutando, este programa abarca varios restaurantes del distrito.

La Junta Directiva del Parque Porcino, para poder beneficiarse con este proyecto, debe presentar los documentos legales de la asociación y solicitar la incorporación al programa. Ya se ha entregado a la Junta, la Ordenanza Municipal N° 060-2007/ MPC y el respectivo reglamento N° 111-2008/MPC que se logró que la Municipalidad Provincial del Callao aprobara y publicara.

2.2.3 Implantación de la gestión de residuos sólidos

Se estableció un lugar estratégico en las granjas con ayuda de los beneficiarios, para el manejo adecuado de los residuos sólidos.

Se ha adquirido 48 cilindros para las 8 granjas en total, se puso su respectiva etiqueta de clasificación y en el lugar establecido.

Se definió los centros de acopio en cada granja con el objeto de que cada beneficiario se haga responsable de la comercialización de sus residuos reutilizables, como lo van realizando en algunos casos.

Se han clasificado los residuos sólidos de la siguiente manera:

- a) Residuos orgánicos. Son todos los residuos de origen vegetal y animal como son, restos de comida, restos de cítricos y huesos.
- b) Residuos incinerables. Son los residuos bioinfecciosos como son, jeringas, envases de medicamentos, guantes, gasas y materiales de manipulación medicinal de los porcinos.
- c) Residuos no inertes. Son todos los residuos de pilas y baterías, en el anexo 8 se detalla las medidas de seguridad que deben tomarse en cuenta.
- d) Residuos reciclables. Son todos los materiales constituidos de plástico (botellas plásticas, tapas de gaseosas), vidrios, metales, latas de conservas, entre otros.
- e) Residuos no reciclables. Son los residuos de los baños, papeles, servilletas, bolsas plásticas, envolturas de comidas, trozos de maderas y otros.







Para tener un manejo adecuado de los residuos sólidos se debe tener en cuenta los siguientes pasos, necesarios y muy importantes para un sistema de gestión adecuado.

- 1) Separación en el origen
- 2) Almacenamiento
- 3) Valoración y transporte
- 4) Tratamiento
- 5) Disposición final

- 1) Separación en el origen. Se debe realizar desde el momento en que se convierte en un residuo. Cada miembro de la granja debe participar en evitar la mezcla de los materiales y tener en cuenta la clasificación realizada, darles el almacenamiento específico y correspondiente para cada residuo.

- 2) Almacenamiento. Se realizó la identificación de basureros por color (preferente), etiqueta y logo correspondiente como muestra el cuadro 4, todos los basureros con su respectiva tapa para protegerlos de la lluvia, el viento y el sol, evitando la transmisión de patógenos y bacterias.

Cuadro 4 Identificación de los cilindros y sus características.

Grupo de residuos	Características de los basureros				
	Código	Uso	Color	Logotipo	Capacidad [l]
residuos orgánicos	O	Restos de comida, huesos	Verde		60
residuos incinerables	I	Jeringas, guantes, envases de medicamentos, gasas y residuos medicinales	Rojo		35
residuos no inertes o peligrosos	P 1	Pilas y baterías	Café		35
residuos reciclables	R1	Botellas plásticas, y otros plásticos PET.	Naranja		60
	R 2	Vidrios en general, latas de conservas y metales	Amarillo		60
residuos no reciclables	N	Papeles de sanitario, servilletas, envolturas de comida, bolsas plásticas.	Negro		35

Se realizó el armado destechado de un área de 4 x 2 m donde se colocó los basureros para que el material se conserve en buen estado y para que la vida útil de los basureros sea mayor. No se pudo conseguir el color especificado en el cuadro anterior, sin embargo las etiquetas especifican el tipo de material que debe almacenarse.

De esta manera se hará más fácil la tarea de clasificado, para su posterior venta.

Es importante fijar la duración de la basura almacenada, para que no sirva como medio de vectores infecciosos, para ello, se elaboró el cuadro 5 y las fotos 9 y 10, que indica el tiempo de almacenamiento para su posterior valoración y transporte

Cuadro 5 Permanencia de los residuos clasificados

CODIGO	O	I	P1	R1	R2	N
PERMANENCIA DE RESIDUOS [días]	30	45	120	30	45	5



Foto 9 y Foto 10, centros de acopio instalados en las casa-granjas de la Sra. Lorenza Lobo y Jorge Iparraguirre respectivamente.

- 3) Valoración y transporte. Se promoverá la reutilización y reciclaje de la mayor cantidad de residuos, para que disminuya su cantidad en la disposición final con tal que facilite su transporte y las posteriores etapas.

Dentro del Parque Porcino existen bastantes segregadores informales que recogen y/o compran los residuos reciclables, éstos pasan tres veces por semana recorriendo el parque a pie, en bicicletas, en motos y hasta en camionetas.

Los beneficiarios de las ocho granjas tendrán un recolector que recogerá los residuos reciclables en los periodos establecidos en el cuadro 5. Esto fue coordinado con la Municipalidad distrital de Ventanilla.

Todo el material reciclable será vendido, los materiales y precios se detallan en el cuadro 6, que se muestra a continuación.

Cuadro 6 Precios de materiales reciclables.

Material	Precio [soles]x[Kg]
Huesos	0.25
Plástico	0.80
Vidrio roto	0.10
Cartón	0.20
Latas	0.30
Tapas	0.10
Fierros	0.80
Cobre	1.30
Papel	0.50
Bolsas transparentes	0.50

4) Tratamiento. El único residuo que tendrá que darse un tratamiento es el residuo orgánico, de la limpieza de los corrales, todo el material que no es apto para la entrada al biodigestor será introducido a la compostera para la producción de compost que será utilizado en el enriquecimiento del suelo para el desarrollo del componente de biohuertos y área de producción agrícola.

5) Disposición final. A todos los residuos no mencionados anteriormente.

La generación en conjunto del material sanitario, papel, cartón y bolsas de plástico, no deja de ser considerable, se sugiere la deposición de estos residuos en el contenedor municipal que se encuentra en la entrada del parque porcino en el paradero de Inka Kola, se ha realizado las coordinaciones con la Municipalidad distrital de Ventanilla para una mayor frecuencia de recojo del mismo.

En el cuadro 7, se muestra el presupuesto total de los materiales requeridos para la instalación del sistema de residuos sólidos para cada granja.

Cuadro 7 Presupuesto total de los materiales requeridos en la instalación de RS.

Descripción	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario	Total (soles)	Observaciones
Listones	2.10m	11	2.80	30.80	La madera para el armazón
Arpillera	1m*3m	4	5.50	22.00	Para el techado
Clavos	1 paq.(2'')	1	6.00	6.00	
Basureros	35 L.	4	8.00	32.00	Para la clasificación de los RS.
Basureros	60Lt.	2	18.00	36.00	Para la clasificación de los RS.
Etiqueta	unidad	8	2.00	96.00	
Transporte	-----	-----	-----	80.00	
Nordex	Lamina	1/2	24.00	12.00	
Clavos	1 paq. (1'')	1	4.00	4.00	
Pincel	-----	1	3.00	3.00	
Brocha	-----	1	4.70	4.70	
Esmalte verde	¼ Gl	1	29.00	29.00	
Esmalte negro	¼ Gl	1	9.90	9.90	
Thinner	1 Lt	1	6.75	6.75	
Waype	½ Kg	1	2.00	2.00	
TOTAL				374.15	

2.3 MANUAL DE GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL

El manual de gestión medioambiental es el compendio de toda la documentación del SGA, el cual se basa en la norma ISO 14001, aplicado a las ocho granjas, cuyo seguimiento de la implantación dependerá del compromiso de los beneficiarios.

Su aplicación ha necesitado de los diagnósticos de la situación actual de las ocho granjas, de las evaluaciones de sus características y factores ambientales, y de la implantación de los componentes del proyecto y de la mejora continua.

Para el desarrollo e implantación de un sistema de gestión medioambiental es necesario cumplir con los puntos que se detallan a continuación:

- Redacción de la política medioambiental

La política medioambiental define que las granjas del parque porcino de Ventanilla buscan mitigar y/o evitar la contaminación de sus recursos naturales con la utilización de tecnologías alternativas para el aprovechamiento eficiente de sus recursos y el adecuado manejo de los residuos sólidos.

- Planificación

a) Aspectos medioambientales. En base a los diagnósticos y evaluaciones realizadas por instituciones y organizaciones afines (Ciudad Saludable, municipalidad), ya se tienen identificados los aspectos medioambientales de mayor relevancia, como son:

- Manejo y disposición de residuos sólidos
- Control de residuos líquidos
- Uso y reaprovechamiento de los recursos (biodigestores y biohuertos)
- Manejo adecuado de la crianza de porcinos

b) Requisitos legales y otros. La Asociación de Porcicultores, Región Callao del Parque Porcino de Ventanilla representada por el presidente Juan Osorio Ordoñez, el mismo que tiene los documentos de la personería jurídica de la asociación. Éste está comprometido con Ciudad Saludable en la entrega de la lista de miembros pertenecientes a la asociación y el plano catastral del Parque Porcino, una vez se concluya su elaboración que se viene realizando con el apoyo de la Municipalidad Provincial del Callao.

c) Definición de objetivos y metas medioambientales. Fueron definidos en la primera fase del proyecto antes de comenzar con las instalaciones.

Los objetivos y metas son los siguientes:

- Instalar y mantener biodigestores para el aprovechamiento eficiente de excretas de cerdo en la producción de gas en calefones y cocinas.
- Instalar y mantener humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la casa, para el regado de cultivo del biohuerto.
- Instalar y mantener el biohuerto para la utilización y aprovechamiento del recurso suelo, agua y biol.

- Instalar y mantener el manejo de residuos sólidos según la clasificación proporcionada en sus respectivos basureros para su posterior venta.
- Construir y mantener corrales con dimensiones específicas para el buen manejo de la crianza porcina.

- Implementación y operación

- a) Estructura y responsabilidad. El dueño de la granja una vez instalado todos los componentes del proyecto debe hacerse responsable del manejo y mantenimiento de los mismos.
- b) Formación, conocimiento y competencia. Se dieron capacitaciones a los beneficiarios y granjeros de la zona en la instalación de biodigestores, la instalación de las conexiones para el gas a la cocina y campanas para la calefacción de los corrales. En la construcción, operación y mantenimiento de humedales, en la instalación y mantenimiento de biohuertos y se dio una capacitación más personalizada sobre el manejo y clasificación de los residuos sólidos.
- c) Comunicación. El flujo de comunicación es directa a los dueños y miembros de las casas-granjas, asimismo se busca que los granjeros establezcan un flujo de comunicación interna entre ellos para retroalimentarse.
- d) Documentación del SGM. Se elaboraron los documentos necesarios para lograr los objetivos y metas medioambientales planteadas. Se cuenta con instructivos de trabajo, manuales de procedimientos y de funciones, entre otros.
- e) Control de documentos y operaciones. Cada granjero beneficiario tiene una copia de los manuales e instructivos sobre el manejo adecuado de cada componente del proyecto a su vez cuenta con copias legalizadas de su estado legal y de su actividad, estos documentos deberán estar a la mano para cualquier consulta.
- f) Preparación y respuesta de emergencia. La norma requiere que la granja establezca y mantenga procedimientos que identifiquen la capacidad, para responder a accidentes y a situaciones de emergencia así, se podrá prevenir y mitigar los impactos ambientales que puedan estar asociados con ellos.

- Comprobación y acción correctiva

- a) Monitorización y medida. Se realizará la monitorización en el caso de los biodigestores, humedales y biohuertos. Éstos a su vez deberán ser documentados.
- b) Disconformidad, acción preventiva y correctiva. El dueño de la granja deberá investigar las disconformidades, mitigar los impactos ambientales para iniciar y completar las acciones correctiva y preventiva.
- c) Registros. El dueño de la granja realizará la identificación, mantenimiento y disposición de los registros o evidencias de que algo se ha realizado.
- d) Auditoría del SGM. La norma exige a las auditorías del SGA evaluar si este sistema presenta conformidad o no a las disposiciones planeadas como la norma ISO 14001 y la adecuada implantación y manutención. Esto podría estar a cargo de la Municipalidad distrital en coordinación con la Junta Directiva del Parque Porcino.

- Revisión de la gestión

El elemento final de la norma, es la revisión de la gestión. La revisión exige que el dueño de la granja revise el SGA a intervalos determinados para asegurar su continuidad, idoneidad, adecuación y efectividad. El dueño deberá liderar la posible necesidad de cambios de acción, objetivos, consignas y otros elementos del SGM, a la luz de los resultados de la auditoría del SGA, en función de cualquier cambio de circunstancias y del compromiso de mejora continua.

3. MEJORA DE LAS GRANJAS Y DE LA ALIMENTACIÓN

En base a visitas iniciales de campo y entrevistas realizadas a los granjeros en un taller inicial de presentación del desarrollo de la experiencia se identificaron los siguientes problemas:

1. No existe una separación entre las diversas áreas y usos que se realiza de la casa-granja.
2. Dificultad para realizar una limpieza adecuada de los corrales y la recolección de excretas y orines para su posible uso como materia prima en los biodigestores.
3. Permanentes enfermedades y muerte de los cerdos, debido a las condiciones de crianza y alimentación.

Por ello se plantea diseñar un modelo de casa-granja que permita separar las áreas para los diversos usos: vivienda, crianza de animales, instalación de biodigestores, humedales y área productiva, centro de acopio de los residuos, crianza de animales menores, entre otros.

Para cumplir con lo propuesto, se realizó la evaluación de la situación actual de las instalaciones existentes, de la alimentación, sanidad, manejo, mejoramiento genético y reproducción de los cerdos, así como de la gestión de la granja y en torno a ello se plantearon las alternativas y los temas para las capacitaciones.

Así mismo en coordinación con cada familia, se definió los lugares donde se instalaron cada una de las nuevas infraestructuras que se construyeron y la elaboración de un plano de distribución de cada una de las granjas, lo cual les permite a las familias en el futuro seguir construyendo tanto el área de corrales como de la vivienda y en base al cual se elaboró la propuesta de una casa-granja modelo.

3.1 METODOLOGÍA Y RESULTADOS

El trabajo se basó en la realización de una serie de reuniones con cada una de las familias, así como reuniones de grupo con todos ellos, para realizar la evaluación de forma conjunta, tomar las decisiones y planificar los trabajos a desarrollar, además se realizaron visitas de campo y levantamiento de información de las dimensiones de cada granja, de las instalaciones existentes, del número de cerdos, condiciones de operación entre otros.

3.1.1 Instalaciones

La mayoría de las granjas cuenta con corrales continuos, sin separación por etapas de crecimiento, ni la continuidad del flujo productivo (ver fotos 11 y 12).

Los comederos y bebederos son recipientes adaptados de llantas (neumáticos de vehículos) o baldes que ya no usan.

Los techos de la mayoría de los corrales son de esteras, no cuentan con pisos y los animales están en contacto con la arena. Las paredes son de parihuelas (palés).

Permanentemente los corrales están húmedos y la limpieza es difícil, por la mezcla con la arena y la humedad existente.

En muchos de los corrales es común encontrar otros animales menores como patos, gallinas, junto a los cerdos.



Foto 11 y Foto 12 muestran las características de las instalaciones de los corrales

En cuanto al tamaño de los corrales se han encontrado una gran variedad, desde 6 m² para reproductores hasta 20 m² para gorrinos de engorde. La densidad en su mayoría está por debajo de los requerimientos mínimos generando los siguientes problemas:

- Sub -utilización del terreno.
- Gasto económico en materiales de manera innecesaria.
- Pérdida de calor mayor por parte de los animales, por tanto mayor incidencia de enfermedades respiratorias.
- Pérdida de peso excesivo por mayor movimiento de los animales.
- Mayor requerimiento de tiempo en la limpieza de los corrales.

3.1.2 Manejo

A las marranas, se les cría juntas en un corral, sólo se les separa cuando van a parir, se les alimenta una vez al día con residuos, su preñez dura 3.5 meses, se les coloca vitaminas para reforzar a los lechones, usan un registro MENTAL. Muchos lechones recién nacidos mueren por aplastamiento.

El verraco, tiene un alojamiento individual, en muchos casos el verraco es alquilado de las zonas aledañas.

En el caso de las gorrinas de reemplazo, los porcicultores no tienen idea de la importancia en su selección para llegar a una mayor productividad de la granja.

A los lechones se les desteta de los 27 a 60 días, se les coloca en un lugar cerrado, limpio, y abrigado, el peso promedio al destete es de 15 kg., mencionan que se les vacuna, pero ignoran contra qué. Se les alimenta 3 veces al día.

Los gorrinos de engorde y acabado tienen alimentación permanente, limpieza condicional, no los castran y los venden en pie entre los 80 a 90 kg, no están muy seguros pues no tienen balanza para verificar.

3.1.3 Alimentación

Tienen dudas sobre la buena calidad de los residuos de restaurante por desconocer su composición.

No cocinan los residuos lo cual representa una fuente de infección latente haciéndose necesario un tratamiento. Además como lo guardan varios días frecuentemente el material fermenta.

No hacen selección de los materiales que conforman el residuo de restaurante lo cual podría producir daños gastrointestinales a los animales como aumentar la incidencia de diarrea y otras enfermedades.

El alimento balanceado es caro y de mala calidad, existe un monopolio de comercialización de alimento balanceado en la zona.

El agua es de mala calidad y muy costosa. El agua se almacena en cilindros o tanques de plástico o concreto.

3.1.4 Sanidad

Vacunan a sus animales contra el cólera, la septicemia y neumonía pero al no manejar registros no saben bien las fechas de vacunación ni el momento óptimo.

Aplican hierro, vitaminas y calcio a las marranas gestantes.

Entre las enfermedades frecuentes se presentan, además de las prevenidas mediante vacunación, diarrea y parásitos internos y externos.

Usan diversos antibióticos ante los cuadros de diarreas y en las heridas usan violeta de genciana.

Hacen limpieza diaria pero en condiciones deficientes sin contar con agua para mantener limpios los corrales.

No existen campañas de vacunación y de erradicación de enfermedades y reciben asesoría esporádica de casas comerciales en cuanto a vacunación.

En la mayoría de los casos no cuentan con la asesoría veterinaria y son ellos mismos los que tratan a sus animales.

Los lechones presentan mayores problemas gastrointestinales y respiratorios debido al poco cuidado que realizan los criadores, siendo la principal causa de mortalidad luego de la inanición y enfriamiento.

La mayor incidencia de problemas gastrointestinales se da en la época de inicio de alimentación de los lechones (15 a 20 días de edad) ya que no cuentan con alimentos apropiados para esta etapa.

La incidencia de problemas respiratorios se presenta en la época de invierno donde las temperaturas ambientales son notablemente bajas (15°C registrada en Mayo 2008) y los vientos muy fuertes, la otra época es en verano cuando las temperaturas son elevadas debido a que los criadores descubren los corrales (levantan el techo), generando shock térmico por los vientos, sobre los animales jóvenes quienes son muy

susceptibles a los cambios repentinos de temperatura. Aún así, es en invierno la mayor incidencia y mortalidad por problemas respiratorios.

3.1.5 Mejora genética y reproducción

El uso de la inseminación artificial es mínimo, lo hacen particulares y anónimos, entre las mismas personas.

La selección de gorrinas de reemplazo es incipiente, no se tiene en claro las pautas a tomar para realizar una buena selección.

La compra de machos reproductores se da entre los vecinos y sólo se toma en cuenta el fenotipo pero de manera incipiente (grande, buen peso en el momento). Es decir, eligen al macho según el gusto del productor, por tanto existe un gran desconocimiento en la selección de animales como reproductores ya sea por falta de asesoramiento técnico o por no tener la opción de conseguir animales de mejor genética.

No han identificado las distintas casas genéticas que les pueden ofrecer animales para mejorar su hato.

En la fase reproductiva, no tienen en claro la detección de celo, ni la duración del ciclo menstrual, ni el momento óptimo para la monta.

En cuanto a razas, priorizan al Pietrain (lo cual afianza en el valor fenotípico), no tienen muy en claro las ventajas y desventajas de las diferentes razas que están en el mercado.

No poseen un programa de mejoramiento genético pues no manejan registros y la valoración de los animales se hace a partir del color, tamaño y resto de rasgos físicos del momento, las fotos 13 y 14 muestran los cerdos en diversos estados sin manejo alguno.



Foto 13 y Foto 14 Manejo de los cerdos en diversos estados.

3.1.6 Gestión de la granja.

Generalmente no llevan un registro de las ventas, las compras, los gastos y los beneficios, los precios, etc.

La cría de cerdos se hace sin un objetivo claro, simplemente se crían. Hay algunas granjas, bien pocas, que sí tienen un objetivo claro. Por ejemplo, El presidente de Pequeños Industriales comentó sobre una granja en la zona 4, que se dedica a criar lechones. Su objetivo empresarial es la comercialización de lechones, constituye uno de los pocos ejemplos de granja con un objetivo comercial bien definido.

3.1.7 Aspecto social

Los problemas que los porcicultores mayormente afrontan son la alimentación, la comercialización y las instalaciones.

El problema de la alimentación radica en su disponibilidad, ya que a veces llega a escasear o no se cuenta con capital para alimentar con balanceado; otro problema es la comercialización dado que los precios tienden a ser muy bajos para el criador, debido principalmente a la modalidad de venta en pie y a intermediarios.

Es sabido que el manejo es también una dificultad, aunque los porcicultores no lo acepten, esto se ve reflejado durante el tiempo de la crianza con marranas primerizas que abortan o tienen partos distócicos, o las diarreas en los lechones, aunque se les ha proporcionado asistencia técnica en la crianza y un plan de manejo de cerdos

formulado según sus condiciones, aun falta mejorar varios detalles como el mejoramiento genético y la bioseguridad y calidad del alimento.

3.2 MEJORAS IMPLEMENTADAS

Para la mejora de la infraestructura se han tenido presentes varios aspectos tales como: las condiciones ambientales necesarias, la funcionalidad, los costos de las inversiones, el bienestar de los animales, la posibilidad de futuras ampliaciones y el impacto ambiental.

Las condiciones ambientales contemplan la temperatura, la humedad, la dirección del viento, la superficie y el área disponible en la granja.

La funcionalidad se refiere a la idoneidad de las instalaciones para obtener la máxima eficiencia de la mano de obra, particularmente en los siguientes aspectos: distribución de alimentos, eliminación de deyecciones, control del ambiente y aplicación de tratamientos higiénico-sanitarios.

El bienestar de los animales se refiere a los siguientes aspectos: conseguir cobijo y confort, agua limpia abundante y alimentación equilibrada, libertad de movimientos, compañía de los otros animales y oportunidad de que tengan comportamientos normales.

Múltiples son las fuentes de contaminación en la explotación porcina, destacando el volumen de excretas y orines, la excreción mineral y la volatilización del amoníaco. La ingesta de minerales en el ganado porcino es mayor que la retención por parte del animal. El 60-80 % de la ingesta de N y P es excretada. El P y el N de las heces contaminan las aguas, y el amoníaco afecta la salud de las personas y animales (rinitis) y a la productividad.

3.2.1 Diseño

La elección del diseño de los corrales tenía que cumplir con el área mínima requerida de confort de los animales de acuerdo a la edad o etapa de crianza (ver cuadro 8 de área mínima recomendada), la cual debe permitir el flujo de los animales, zona de descanso y alimento, la zona para defecar y disminuir la pérdida de condición corporal maximizando el terreno y los materiales.

Cuadro 8 Dimensiones recomendadas

Etapa	Área mínima (m ²)	Área real (m ²)	Tamaño comedero	Altura bebedero
Lechón(nac-20kg)	0.1-0.4	0.15-0.57	0-15/3 unid.	0.25
Gorrino Crecimiento (20kg-50kg)	0.8	0.9	0.25	0.45
Gorrino Engorde(50kg-70 kg)	1.0	1.0	0.3	0.45
Marrana	3.0	4	0.50	0.70
Verraco	6-10	6-10	0.60	0.80

Fuente: Álvarez 2007

Inicialmente se planteó el uso de jaulas de parición (Fotos 15 y 16) debido a la alta tasa de mortalidad por aplastamiento de los lechones, el objetivo era no permitir que la marrana se echara en el piso de manera brusca ocasionando la muerte de los lechones.

Se preparó un plano con estas características que además permitían el inicio de la alimentación temprana de los lechones, al presentarlo a los beneficiarios, lo rechazaron pues no querían ver a sus animales encerrados en una jaula, tal vez porque pensaban que el estrés podría disminuir la cantidad de leche y ocasionar la muerte de los lechones, aunque se les explicaron los beneficios de este tipo de instalaciones no se pudo convencerlos.



Foto 15, Modelo de jaula de maternidad Foto 16 Modelo de jaula de maternidad

Al buscar varias alternativas que permitiera trabajar con el presupuesto disponible y que fueran aceptables por los beneficiarios, se decidió diseñar corrales de concreto armado con divisiones para permitir que los lechones durmieran y aprendieran a

comer en esa zona, se dimensionó el corral para funcionar como maternidad (del nacimiento hasta destete) y recría (desde el destete hasta 20 kg).

Los comederos se diseñaron de acuerdo a las necesidades de área mínima de confort, siendo de 40 cm de largo x 30cm de alto, en el caso de los lechones las medidas fueron de 15 cm de ancho x 15 cm de alto x 15 cm por lechón. (Ver cuadro 9 de área de corrales).

Cuadro 9 Dimensionamiento de corrales adaptado al Parque Porcino

Etapa	Área real (m2)	Tamaño comedero	Altura bebedero
Lechón(nac-20kg)	0.15-0.57	0-15/3 unid.	0.25
Gorrino Crecimiento (20kg-50kg)	0.9	0.25	0.45
Gorrino Engorde (50kg-70 kg.	1.0	0.3	0.45
Marrana	4	0.50	0.70
Verraco	6-10	0.60	0.80

Fuente: elaboración propia

La recogida de la orina se realizó a través del diseño de canaletas de tipo circular con 5 % de pendiente, el concreto se enriqueció con sika, la cual permite mayor duración del periodo de vida de las canaletas contrarrestando la corrosión de las paredes por el flujo de la orina.

Los beneficiarios estuvieron de acuerdo con el diseño de los corrales y se decidió iniciar la construcción de los mismos.

3.2.2 Construcción

Se iniciaron las construcciones con el delineado de todos los componentes (ver foto 17). En la primera etapa, la búsqueda de mano de obra que pueda llevar a cabo la construcción fue difícil pues no era disponible por el acceso a la zona y los posibles albañiles no contaban con documentos que permitieran elaborar los contratos respectivos.

Al existir un único proveedor en la zona, se trabajó con éste aunque se sabía que sus costos eran mayores pero conocía la zona, contaba con movilidad, personal y documentos en orden.

En la segunda fase de réplica, al encontrar otros albañiles en otras zonas del Parque Porcino, se pudo trabajar con varios a la vez y avanzando de forma simultánea.



Foto 17 Delineamiento de instalaciones

Otro aspecto donde se realizaron mejoras fue en la ubicación de cada uno de los componentes tomando en cuenta las pendientes (ver fotos 18 y 19) y en conseguir la cooperación de las familias con mano de obra en cada una de las actividades desarrolladas.

El número de corrales se determinó en base al número de madres y al presupuesto disponible, además de los parámetros productivos que manejaban los beneficiarios (cuadro 10).

Cuadro 10 Número de corrales por casa

Fases	Beneficiario	N° de corrales gestación-maternidad	N° de Corrales Crecimiento-engorde	N° de corrales de reproductores
Primera fase	Umbelinda Castillo	9	5	-
	Sixto Almanza	5	4	-
	Jorge Iparraguirre	10	18	10
Primeras réplicas	Matilde Corimayhua	6	4	
	Crispín Alhuay	10	-----	
	Reynaldo Cuadros	4	4	
	Marcos Inga	6	-----	4
	Lorenza Lobo	4	4	

Fuente: Elaboración propia.



Foto 18, Construcción de corrales



Foto 19, Dormidero de lechones

3.2.3 Cubierta

Los techos se colocaron dependiendo de la dirección del viento, con la zona más baja (0.8 m) a favor del viento para disminuir su impacto, se colocaron palos de sostén y transversales para el armazón cubriéndose éste con malla arpillera y sellándose con brea con el objetivo de impermeabilizar y permitir mayor tiempo de vida útil, protegiendo a los animales de la lluvia (ver fotos 20 y 21).



Foto 20, Instalación de armazón de techos



Foto 21, Instalación de arpillera en techos

3.2.4 Instalaciones de agua

La importancia de las instalaciones de agua radica en la necesidad de los animales de tener agua limpia, lo que redundaría en mayores consumos de alimento y producción láctea.

Se instalaron juegos de bebederos tipo chupón con inclinación de 45° grados (ver figuras 7 y 8) para asegurar el bienestar del animal al beber, con esto no hay desperdicio de agua y disminuye la humedad en el corral por tanto las enfermedades respiratorias también disminuyen.

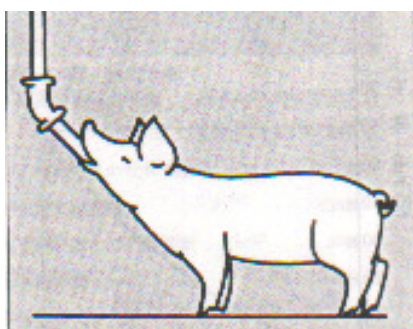


Fig. 7, Inclinación de 45° para Bebedero

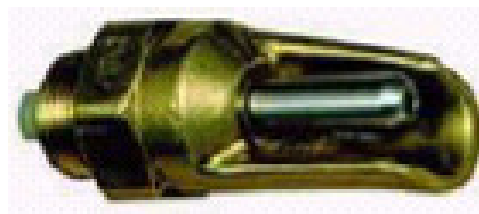


Fig. 8, Modelo de bebedero tipo chupón

Estos chupones se instalaron de acuerdo al tamaño del animal, es decir para los lechones se les colocó a una altura de 25 cm del suelo, a las marranas y al verraco a 50 cm y a los gorrinos a 40 cm del suelo; además se utilizaron chupones con flujo de agua divididos en adultos y lechones

3.2.5 Gestión y manejo de las granjas

Actualmente los beneficiarios dedican un mayor número de horas al cuidado de los animales, debido básicamente a la necesidad de limpieza de los corrales lo cual realizan diariamente, se encuentran más atentos a cualquier cambio en el comportamiento de sus animales ya que esto les anticipa algún daño o inicio de alguna enfermedad.

El tiempo de destete se está reduciendo de 45-60 días a 35 días, por tanto las marranas no terminan la etapa de lactancia con baja condición corporal y esto a su vez les permite el servicio de la misma en un periodo de tiempo más corto.

Así mismo los beneficiarios manejan un registro, en el cual apuntan diversos acontecimientos importantes en la crianza.

Además de lo mencionado, los beneficiarios se han dado cuenta de que la productividad de sus granjas mejora si realizan algunas actividades extra:

- Atención al parto: para disminuir el número de muertos en el nacimiento
- Preparación del dormitorio: mantienen el calor en esa área y disminuye mortalidad por enfriamiento
- Dirección de la lactación: para asegurar la supervivencia durante la lactación.

Con todas estas medidas, los parámetros de confort para los cerdos en distintas etapas de su crecimiento han variado sensiblemente (Cuadro 11).

Cuadro 11 Parámetros de confort comparativos

PARAMETRO	ANTES	DESPUES
Área de lechones (m)	1.00	0.30
Área de gorrinos (m)	5.00	1.00
Área de marranas (m)	12.00	4.00
Área de verraco (m)	16.00	10.00
Agua ad libitum	Bebedero llanta de camión No tenían libre acceso a agua limpia para beber	Bebederos tipo chupón Agua limpia para beber de libre acceso
Sombra (protección del clima)	Insuficiente o nula	Adecuada

Fuente: elaboración propia

Alimentación

Los ocho beneficiarios iniciales, han incorporado el uso de alimento balanceado para aumentar la ganancia de peso diaria para un mejor desempeño de sus animales.

También se ha incorporado la mejor selección de los residuos para cada etapa de los animales, por tanto a las marranas gestantes se les alimenta con un porcentaje mayor de verduras y se evita dar a los animales residuos orgánicos en estado de putrefacción. Cabe anotar que los animales poseen agua de bebida en forma libre, lo que ayuda a una mayor ganancia de peso y mayor producción de leche.

Sanidad

Los beneficiarios continúan encargándose de los tratamientos para sus animales, pero ahora previenen las enfermedades mediante la mayor limpieza de los corrales y la aplicación de vacunas y vitaminas antes de presentar alguna enfermedad.

Además están llevando a cabo tratamientos completos sin interrumpirlos ni cambiar los antibióticos según sus propios criterios, sino siguiendo las pautas recomendadas.

El 100% de los beneficiarios vacunan a sus animales contra el cólera porcino, tres de ellos vacunan contra la pasteurelosis neumónica (llamada comúnmente septicemia) de las dos enfermedades enunciadas, sin duda la que mayor peligro representa en la crianza de cerdos, es la primera, por lo que en la actualidad la vacunación se da en todos los criaderos.

Parámetros reproductivos

La edad del verraco al primer servicio es de 8 meses, la máxima de 12 meses de edad, este es un tema que los beneficiarios ya manejan con claridad, asimismo saben reconocer cuando la hembra es receptiva al macho, conocen el peso ideal que ésta debe tener para realizar el primer servicio.

Este peso debería ser en las condiciones y calidad de animales que poseen un mínimo de 80 kg en peso vivo de la hembra, actualmente los beneficiarios buscan el equilibrio entre edad y peso, además del número de celos continuos presentados, combinar estos parámetros para el primer servicio se ha vuelto más práctico luego que han iniciado la selección de sus marranas de manera más objetiva.

Las marranas sólo tienen 1.7 partos mínimos y 2.17 partos máximos por año, esto se debe a que se ha acortado el periodo de lactancia a 35 días y el tiempo de vacío (no preñada ni lactante) se ha disminuido a 15 días como máximo ya que las marranas están siendo destetadas con condición corporal media es decir ni flaca ni gorda.

Además, la mejora en las condiciones de instalación, agua de bebida libre, el mejor manejo de la alimentación y la limpieza han disminuido el estrés a que se veía sometido el animal y de esta manera disminuye el aborto temprano de las crías.

Todos los criadores obtienen entre 5 y 6 camadas en ausencia de problemas reproductivos.

El promedio de lechones nacidos es 9.5, variando entre 6 y 13, así mismo el número de lechones destetados es 9, variando entre 8 y 10. Las granjas han visto una disminución de mortalidad hasta un 20% en las primeras semanas de vida, esta disminución es debida al mejor manejo del factor de enfriamiento por los corrales protegidos por cortinas; el factor de inanición se ha visto disminuido debido a la mayor disposición de agua de bebida que genera mayor producción de leche y el control de la mortalidad por aplastamiento, que también ha disminuido (Cuadro 12).

Cuadro 12 Comparativo Parámetros Reproductivos

Parámetros reproductivos	Antes	Después
Edad al primer servicio(meses)	9.5	10
Peso promedio al primer servicio	50	75
Número de partos por año	1.6	2.17
Numero de lechones nacidos	8.5	9.5
Numero de lechones destetados	5	8

Fuente: elaboración propia

El peso al nacimiento es un indicador importante pues define la supervivencia del lechón, dada la relación altamente significativa entre el peso al nacimiento y la mortalidad, además una marrana que proporcione camadas con crías de peso uniforme por encima de los 1.2 kg es considerada buena reproductora y sus crías hembras tendrán mayores probabilidades de ser escogidas como futuros reemplazos.

El peso al nacimiento promedio después de la mejora fue de 1.25 kg y refleja la baja mortalidades de los lechones durante los tres primeros días de vida.

El peso a la tercera semana indica la cantidad de leche que produce la madre, es en esta etapa en la que la marrana demuestra su mayor producción láctea, para luego empezar a disminuir su producción, entonces este parámetro es vital para seleccionar nuevas madres a partir de una reproductora con buena producción láctea.

El peso promedio a la tercera semana es de 5.00 kg, reflejando la mejora en la producción láctea de la madre y esto debido básicamente al manejo alimenticio y al libre acceso al agua de bebida.

El peso al destete tiene influencia en la ganancia de peso del lechón para llegar a su peso de comercialización, es con este peso que el lechón inicia su expresión real de la carga genética por lo cual es un parámetro importante al momento de la selección.

Para lechones destetados a los 35 días el peso mínimo debe ser de 9.5 kg con lo cual se observa que el peso medio de 8.9 se encuentra por debajo del mínimo requerido, comparado con los 6.5 kg de peso que alcanzaban antes a los 45 días, se puede apreciar una considerable mejora (Cuadro 13).

Cuadro 13 Cuadro Parámetros Productivos

Parámetros productivos(kg)	Antes	Después
Peso al nacimiento	1.15	1.25
Peso a la tercera semana	4.05	5.0
Peso al destete	6.5	8.9

Fuente: Elaboración propia

Gestión de la granja

En lo referente a la gestión de la granja, actualmente llevan un registro simple de la crianza:

- Día de servicio y verraco utilizado: De esta manera saben si la marrana quedó cubierta y evitan la consanguineidad de los reproductores.
- Fecha de parto programado: con este dato logran manejar el día en que la marrana debe ser desparasitada (5 días antes del parto) y trasladada a la maternidad donde se le cambiará la dieta de manera paulatina hasta el día de parto.
- Tamaño de camada y peso: estos datos les proporcionan características básicas para la selección de futuras madres y también evalúan a la marrana para decidir si forma parte del plantel de reproducción o la venden.
- Fecha de destete y actividades de vacunación: de esta manera programan el uso de los corrales de manera segura y las veces que el veterinario debe ir a vacunar a la marrana y lechones.
- Registro sanitario: tiene el objetivo de anotar enfermedades de mayor incidencia o muertes repentinas que no se conozcan el origen o tratamiento para la posterior revisión con el veterinario.

En cuanto al destino de la producción todos los beneficiarios utilizan para el autoconsumo cuando lo requieren pero la mayor parte de los animales son para la venta a intermediarios.

Respecto a la tendencia a criar cerdos, siete de los ocho beneficiarios iniciales muestran interés por aumentar la población porcina de su hato y quien posee cerca de veinte marranas tiende a estabilizar su población.

En relación a la comercialización, el precio de venta según los propios beneficiarios, es por acuerdo, aunque la informalidad de la venta hace que el criador tenga poco poder para imponer un precio justo. Este precio varía desde los S/.3.00 hasta los S/. 5.2, en peso vivo, y en carcasa (peso limpio, animal eviscerado) S/. 6.20 (verano) y S/.7.5 (invierno).

Sólo uno de los beneficiarios prefiere vender los lechones a la edad de 2 meses, aproximadamente 8 kg de peso vivo.

Los demás suelen vender a los animales a la edad de 5 a 6 meses con un peso de 50 a 55 kg de peso vivo, pero como ellos mismos afirman no siempre pueden llegar a ese peso pues necesitan dinero para alimentar a los demás cerditos o tienen alguna deuda que pagar, por los animales de 55 kilos reciben S/. 240 aproximadamente pero cuando son más pequeños los compran al barrer es decir les pagan por el conjunto ya no en forma individual (Cuadro 14).

Cuadro 14 Parámetros comparativos para la comercialización

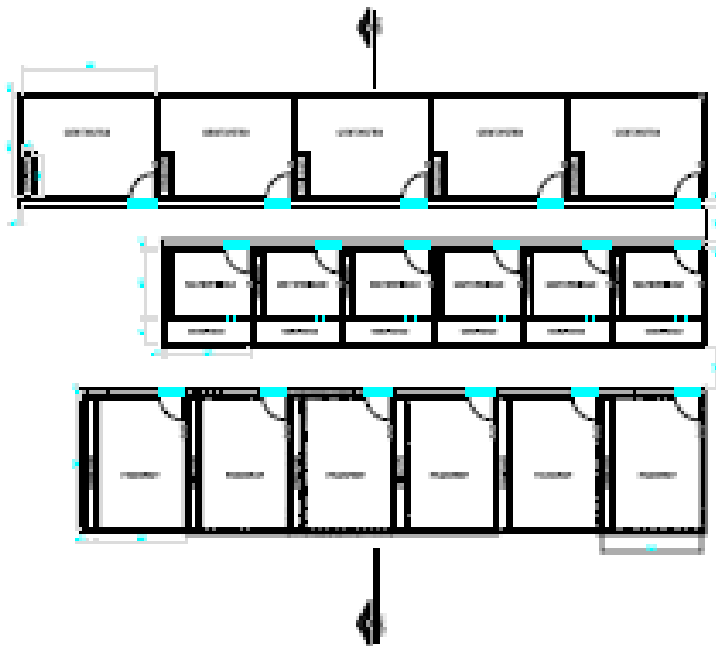
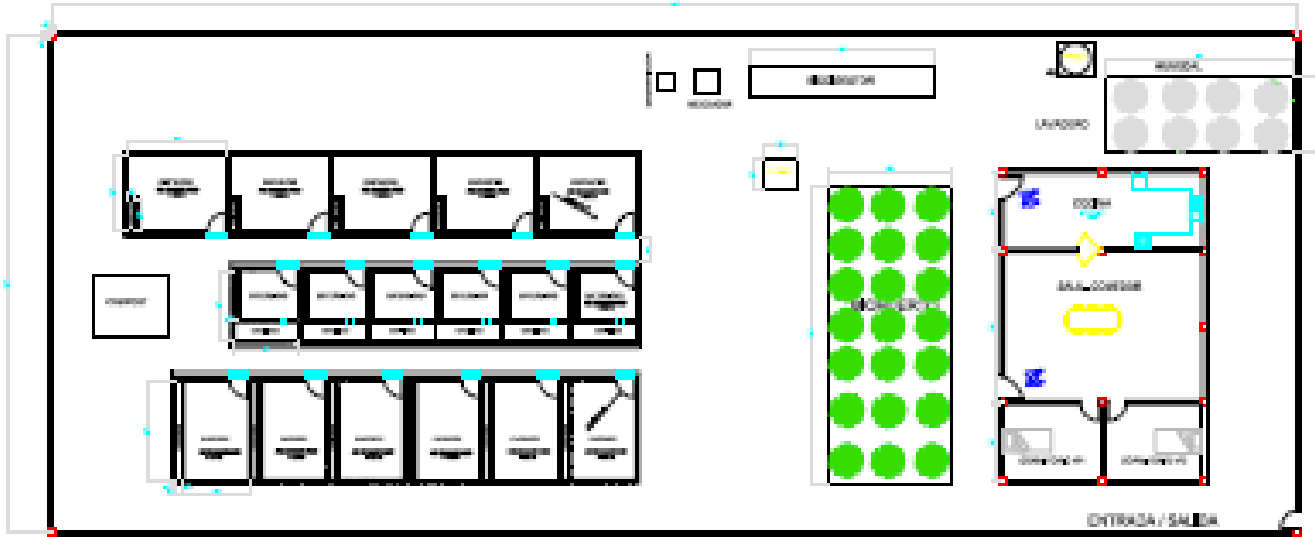
Parámetro	Antes	Después
Peso a la venta (kg.)	45-50	60 a 75
Edad a la venta (meses)	5 a 6	4.5 a 5

Fuente: elaboración propia

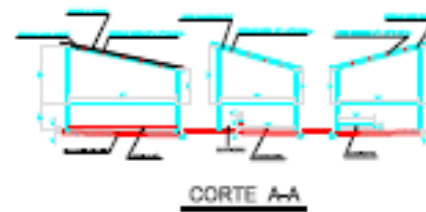
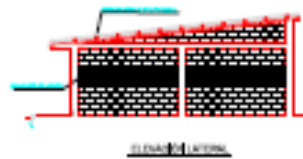
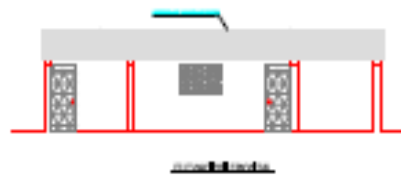
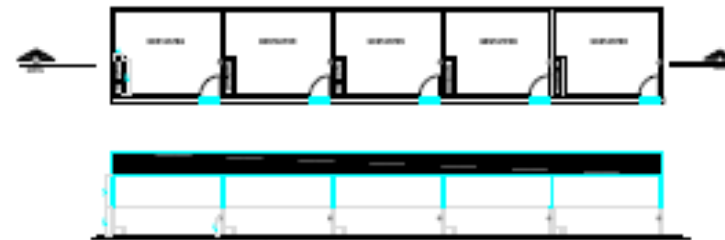
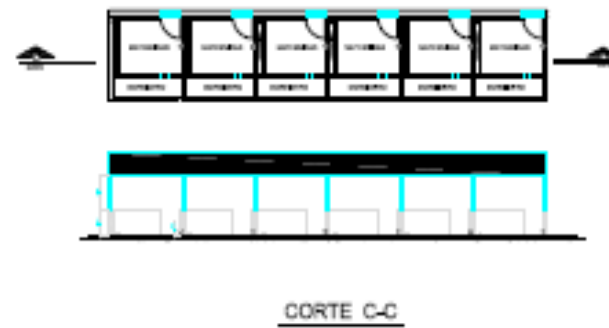
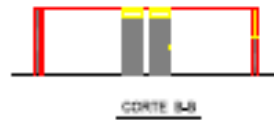
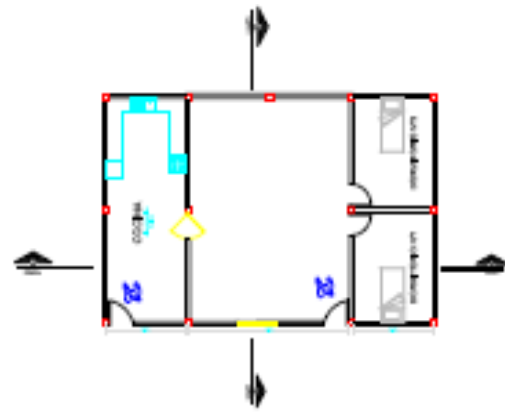
La diferencia en los nuevos pesos se explica porque el mayor peso corresponde al beneficiario que sólo alimenta con balanceado a los gorrinos en la etapa de crecimiento y engorde, en tanto que el menor peso es para los beneficiarios que aun alimentan con residuo de restaurante y balanceado.

A continuación se presenta el plano de una casa-granja modelo.

DISTRIBUCION OPTIMA DE CASAS - GRANJAS



CORTE B-B



4. BIODIGESTORES

El uso de biodigestores en zonas urbanas marginales y zonas rurales podría contribuir a la reducción de los problemas de contaminación de las aguas residuales, mejorar las condiciones higiénico-sanitarias de los habitantes, mantener un equilibrio ambiental y mejorar la estructura del suelo. La aplicación del efluente producido por el biodigestor (abono orgánico o biol) incrementa la fertilidad del suelo, permitiendo así el aumento de la producción de las plantas cultivadas.

Pueden identificarse algunas ventajas en la instalación de biodigestores. En primer lugar, el gas combustible producido (biogás) puede utilizarse para cocinar o para proporcionar calor a los animales recién nacidos, disminuyendo así el gasto en combustibles (GLP, kerosene, entre otros). También puede utilizarse en la iluminación, aunque su uso en este ámbito es poco eficiente en términos energéticos (*Werner, 1989*).

En segundo lugar, como subproducto de la producción del biogás, se obtiene un fertilizante orgánico líquido (biol) de alta calidad de inmediata disponibilidad a los cultivos y que se puede integrar fácilmente al sistema de producción de las granjas. Además si bien no es en forma permanente también se produce otro subproducto sólido, denominado biosol, para ser utilizado en la mejora de los suelos, incrementando la fracción orgánica.

En el presente capítulo se recogen algunos conceptos básicos sobre la tecnología de la digestión anaerobia y los biodigestores y se desarrolla más exhaustivamente la construcción e instalación de un tipo muy particular de biodigestor – biodigestor tubular de plástico – con una serie de soluciones constructivas desarrolladas y adaptadas a un entorno geográfico concreto – el Parque Porcino de Ventanilla, Lima.

Si bien es cierto que durante la fase de desarrollo de la experiencia se desarrollaron dos tipos de biodigestores (de obra y de manga), se exponen con más detalle los tubulares de plástico (manga), debido a que la evaluación económica realizada permitió definir éste como el modelo más adecuado.

4.1 MARCO TEÓRICO

4.1.1 DIGESTIÓN ANAEROBIA

La digestión anaerobia es un proceso biológico de degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Este proceso lo llevan a cabo microorganismos anaerobios que actúan en el interior de un biodigestor. Este biodigestor o reactor no es más que una cámara hermética al aire, en la que se dispone la materia orgánica sin oxígeno para que pueda llevarse a cabo la fermentación. La digestión anaerobia se presenta entonces como una posibilidad de tratamiento de residuos orgánicos.

Los residuos que se pueden digerir son variados: excretas de animales, residuos de vegetales y plantas, otros residuos o aguas residuales agroindustriales. Aunque la mayoría de sustratos orgánicos serán adecuados, la madera o los residuos leñosos son desaconsejables (*Werner, 1989*).

Esta conversión se produce en diversos ambientes, ya sean naturales, como los sistemas gastrointestinales (rumen), los sedimentos marinos, de ríos y lagos, las fuentes termales o las turberas, o bien en sistemas controlados como los fermentadores o digestores anaerobios (*Vincent, 1997*).

Como productos principales de este proceso de degradación se pueden obtener: fertilizante orgánico líquido, fertilizante orgánico lodoso y biogás; además ofrece enormes ventajas para la transformación de desechos:

- Mejora la capacidad fertilizante del estiércol, disminuyendo su agresividad
- El efluente es mucho menos oloroso que el afluente
- Control de microorganismos patógenos

El biogás obtenido constituye una energía renovable sin emisiones netas de gases invernadero ni efectos negativos sobre el ambiente. Por el contrario, se considera un combustible fiable.

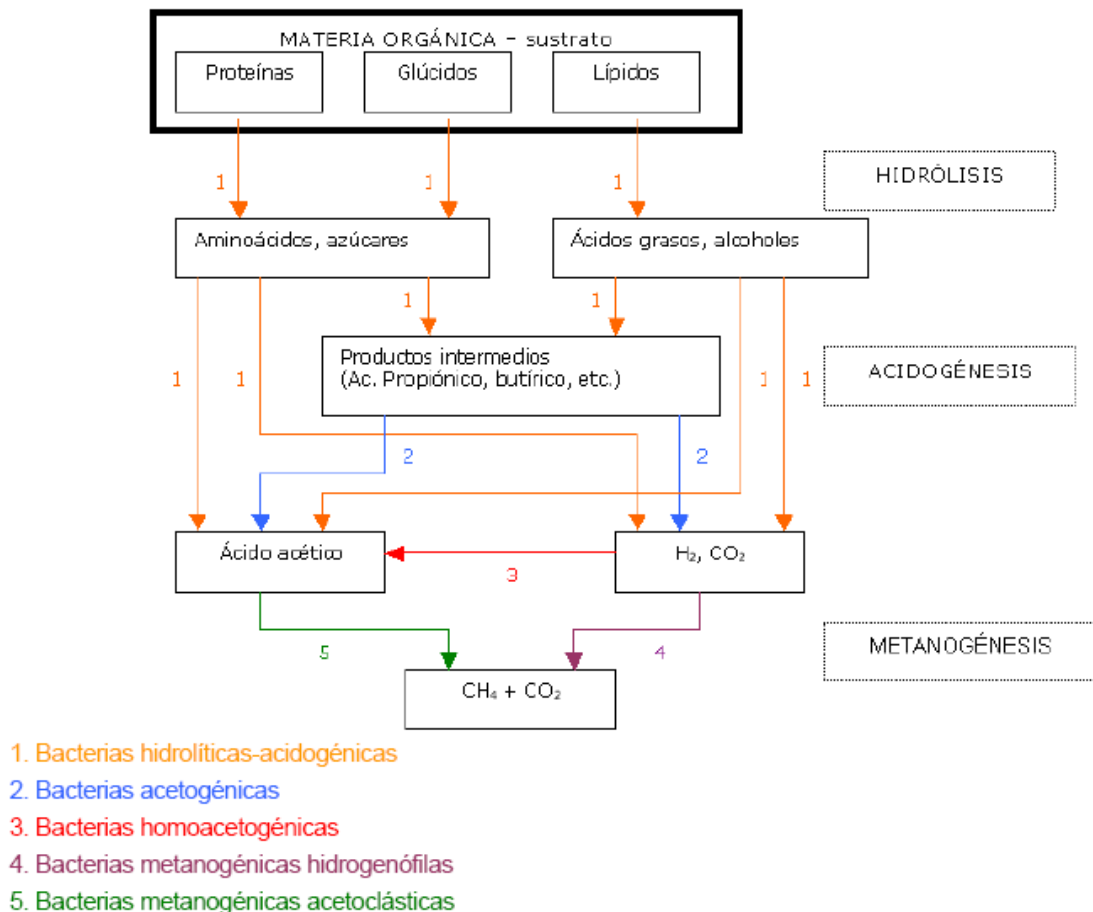
Las ventajas para el usuario de la tecnología del biogás son el ahorro económico por el uso de los subproductos (ahorro en combustibles, disponibilidad de energía para el desarrollo de otras actividades, ahorro en fertilizantes), menos trabajo y otros beneficios cualitativos (facilidad de cocinar y mejores condiciones higiénicas, mejor iluminación,

independencia energética, mejora del trabajo de la granja, mejora de la calidad del suelo) (Werner, 1989; Sasse, Kellner y Kimaro, 2004).

4.1.2 PROCESO BACTERIOLÓGICO

El paso de un sustrato complejo a metano se caracteriza por un conjunto de reacciones asociadas al metabolismo de numerosos microorganismos, que actúan de intermediarios para transformar la materia orgánica compleja en sustratos asimilables por las bacterias metanogénicas. En el proceso global de digestión se suelen diferenciar tres grandes etapas (Vincent, 1997), las que se muestran en la figura 9:

Fig. 9. Proceso Global de Digestión



- **Etapa hidrolítica-acidogénica:** La materia orgánica es metabolizada por los microorganismos. Se descomponen las cadenas largas de materia orgánica en otras más cortas, obteniéndose los productos intermedios (GTZ, 2004).

Por tanto en esta etapa, que se podría resumir como la degradación de la materia orgánica en ácidos, alcoholes y nuevas células, la eliminación de DQO es mínima (*Vincent, 1997*).

- **Etapa acetogénica:** En la fase de acetogénesis, se metabolizan los productos terminales de la etapa acidogénica, es decir alcoholes, ácidos grasos volátiles y algunos compuestos aromáticos que son convertidos en acetato, CO₂ e hidrógeno.

Así, el metabolismo acetogénico se caracteriza por una absoluta dependencia de la eliminación de hidrógeno por las bacterias que lo utilizan como pueden serlo las bacterias metanogénicas o las sulfatoreductoras en presencia de sulfatos (*Vincent, 1997*).

- **Etapa metanogénica:** Constituye la etapa final del proceso, y en ella el acetato, formiato, metanol y metilaminas son fermentados a metano por las bacterias metanogénicas.

Las tasas de crecimiento de las bacterias metanogénicas son cinco veces menores que las de la fase anterior por ello serán las que limitarán el proceso de degradación anaerobia. Serán también las que condicionarán el cálculo del tiempo de retención del reactor durante la fase de diseño, así como la temperatura de trabajo (*Metcalf y Eddy, 1973*).

El grupo de bacterias se encuentran de forma simbiótica. Las productoras de ácido o acidogénicas crean el entorno ideal para el desarrollo de las bacterias metanogénicas (condiciones anaerobias y cadenas orgánicas cortas). Las metanogénicas a su vez usan los productos intermedios de las acidogénicas, que si no fueran consumidos crearían condiciones tóxicas para las acidogénicas. A la práctica son el grupo de bacterias que producen a la vez la fermentación anaerobia, sin ser posible que ninguna de ellas independientemente lleve a cabo todo el proceso (*GTZ, 2004*).

La naturaleza y la composición química del sustrato condicionan la composición cualitativa de la población bacteriana de cada etapa, de manera que se establece un equilibrio fácilmente alterable cuando aparece algún producto tóxico en la entrada.

Asimismo, las tasas de conversión del sustrato en biomasa bacteriana son del orden de 4 veces inferiores a las tasas correspondientes a los sistemas aerobios de eliminación de

materia orgánica, lo cual implica que el proceso anaerobio es, en líneas generales, lento. También se necesitan varias semanas, incluso uno o dos meses, de puesta en marcha para conseguir una producción estable de gas (*Flotats, Bonmatí, Sero, 1997*).

4.1.3 PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO

Las bacterias, como seres vivos, se ven afectadas por las condiciones ambientales del entorno. Las bacterias metanogénicas determinan los rangos adecuados para el proceso de digestión, por su lento crecimiento y su alta sensibilidad a la variación de los parámetros. A continuación se caracterizan los parámetros ambientales que afectan a la biodigestión.

- pH y alcalinidad

En cada fase del proceso los microorganismos presentan máxima actividad en un rango de pH diferenciado: hidrolíticos entre 7.2 y 7.4; acetogénicos entre 7 y 7.2 y metanogénicos entre 6.5 y 7.5.

En el mantenimiento del pH es de vital importancia el sistema formado por las diferentes formas del carbono inorgánico, en equilibrio (dióxido de carbono, bicarbonato, carbónico) (*Flotats, Bonmatí, Sero, 1997*).

Aumento del pH – inhibición del proceso biológico, aumenta rápidamente la presencia de ácidos volátiles, la producción de gas disminuye rápidamente, el pH aumenta rápidamente.

Reducción del pH – inhibición del proceso biológico, aumenta rápidamente la presencia de ácidos volátiles, la producción de gas disminuye rápidamente, el pH se reduce rápidamente (*Henze, 1997*).

- Potencial redox

Debe ser suficientemente bajo para asegurar el desarrollo de poblaciones metanogénicas estrictas. Las bacterias metanogénicas requieren potenciales de oxidación-reducción comprendidos entre -300mV y -330 mV (*Flotats, Bonmatí, Sero, 1997*).

- Nutrientes

En el medio a digerir debe haber una relación adecuada entre nutrientes para el desarrollo de la flora bacteriana. La relación C/N debe estar comprendida entre 15/1 y 45/1, con un valor recomendable de 30/1. Valores muy inferiores disminuyen la velocidad de reacción y valores muy superiores crean problemas de inhibición. Para el fósforo la relación óptima es C/P = 150/1. Valores inferiores no crean problemas de inhibición. En general, los residuos ganaderos no presentan problemas por falta de nutrientes (*Flotats, Bonmatí, Sero, 1997*).

- Temperatura

El proceso de digestión anaerobia puede realizarse en tres rangos diferentes de temperatura: psicrófilo: por debajo de 20°C; mesófilo, entre 30° y 40° C; termófilo, entre 50° y 70°C. Con el aumento en el rango de temperaturas, aumenta la velocidad de crecimiento de las bacterias y la velocidad de producción de biogás. Trabajando con el rango termofílico se asegura además, la destrucción de microorganismos patógenos, la eliminación de malas hierbas y de huevos y larvas de insectos, por lo cual presenta interés para el tratamiento de residuos que han de ser aplicados al suelo y cultivos, por lo que requieren un cierto grado de higienización (*Flotats, Bonmatí, Sero, 1997*).

Variación de temperatura – El grado de sensibilidad del proceso depende del rango de trabajo del biodigestor. Las siguientes variaciones en función del rango de temperatura de trabajo no son todavía inhibidoras del proceso.

A. Rango psicrófilico: ± 2 °C/hora

B. Rango mesofílico: ± 1 °C/hora

C. Rango termofílico: $\pm 0,5$ °C/hora

La fluctuación diurna-nocturna de la temperatura no será un problema grave en plantas que estén construidas bajo el nivel del suelo, puesto que la temperatura del suelo a un metro de profundidad es prácticamente constante (*GTZ, 2004*).

- Estabilidad, toxicidad e inhibición

Las formas no ionizadas de los ácidos grasos volátiles, así como el amoníaco libre o el ácido sulfhídrico son inhibidores de importancia de las bacterias metanogénicas. Estos compuestos presentan una inhibición de tipo reversible. Los metales pesados también son inhibidores o tóxicos a altas concentraciones.

Para residuos ganaderos en general, los compuestos críticos son el nitrógeno amoniacal, los antibióticos y los desinfectantes, así como el Cu y el Zn para residuos de porcino (*Flotats, Bonmatí, Sero, 1997*).

- Sólidos totales (ST)

La cantidad de sólidos de entrada está relacionada con la cantidad de agua. Así un valor del 10% de ST significa un contenido de agua de la corriente del 90%. Se requiere un menor volumen del reactor cuanto mayor sea el contenido en sólidos. En función del diseño del reactor, existen tres tipos de digestores:

- Bajo contenido en sólidos: 10%
- Contenido medio en sólidos: 15-20%
- Alto contenido en sólidos: 22-40% (*Monet, 2004*)

- Tiempo de retención

El tiempo de retención representa el tiempo que un residuo está dentro del digestor, el tiempo de residencia hidráulico de la corriente residual. Depende del diseño del reactor en cuanto a temperatura de trabajo y mezclado del contenido, así como la tecnología.

- DQO/DBO

La demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda biológica de oxígeno (DBO) son parámetros que representan indirectamente el contenido de materia orgánica de un residuo a través del oxígeno necesario para oxidar químicamente (DQO) o biológicamente (DBO) la materia orgánica (*Felipe-Morales, Moreno, 2004*).

La carga orgánica introducida en un digestor es la cantidad máxima asimilable que tiene el digestor, medido en kg DBO o SV / m³ de digestor. Los sólidos volátiles (SV) representan la materia orgánica de la muestra, medida como el contenido sólido menos el contenido de cenizas resultantes de la combustión completa (*Monet, 2004*).

- Parámetros de control

Para hacer óptimo el seguimiento del proceso es necesario medir frecuentemente aquellos parámetros que podrían causar alteraciones significativas o llegar a inhibir el proceso. En el cuadro N° 15 se detallan las variables más propensas a causar estas alteraciones, clasificadas según se refieran a seguimiento o control del proceso o al control del funcionamiento.

Cuadro 15 Parámetros operacionales de los procesos anaeróbicos

Parámetros operacionales de los procesos anaeróbicos		
Medida	Objetivo	Intervalo de variación aceptable
<i>Seguimiento del proceso</i>		
Temperatura	Mantenerla constante	± 1 °C
Carga de entrada (kg DQO/d)	Prevención de las saturaciones	+50% para DQO disuelta +100% para DQO suspendida
Control del proceso		
Concentración de los ácidos volátiles	Detección de posibles inestabilidades del proceso	Total: 200-500g como AAc/m ³ AAc: 200-500g como AAc/m ³ APr: 50-100g como AAc/m ³
Producción de gas	Control de las bacterias metanogénicas	± 20%/día (en función de la carga orgánica de entrada)
pH	Control de la inestabilidad	6-7. Variación ±5%/día
Control del funcionamiento		
Concentración de materia orgánica en el afluente	Control de la eficiencia del tratamiento	Variación ±10%/día
Producción de gas / calidad	Control de la media producida de metano	Variación ± 20%/día Contenido de metano 60-75%
Calidad del lodo digerido (% de volátiles)	Control del funcionamiento de la estabilización de la materia orgánica	60-70% normal, variación ±5%

4.1.4 BIODIGESTORES.

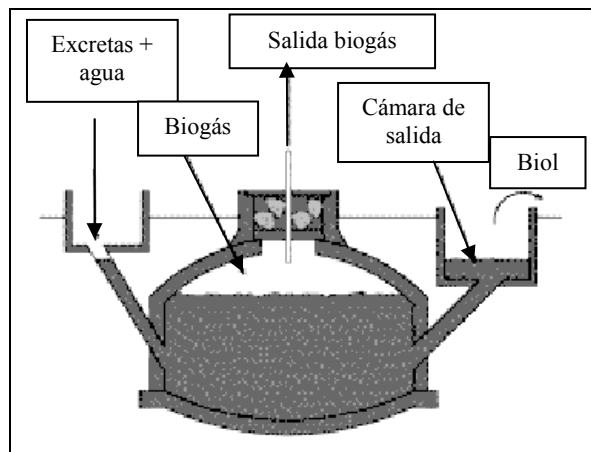
Los biodigestores son los reactores donde se provoca de manera controlada la digestión anaerobia para la obtención de biogás y biol. La mezcla de excrementos y agua se introduce en el biodigestor, donde permanece a una cierta temperatura durante un tiempo determinado, que variará en función del tipo de excremento introducido y del tipo de digestor. La mezcla entra al biodigestor por un extremo y se va degradando a medida que avanza dentro de éste, hasta llegar al otro extremo donde se sitúa la salida. Durante este proceso una parte de las excretas introducidas se transforma en biogás, que

se puede recoger mediante una tubería conectada a la parte superior del digestor. El dimensionado del digestor se hace atendiendo, entre otras cosas, a la cantidad diaria de excretas generadas en la granja y al tiempo necesario para que éstas sean degradadas satisfactoriamente.

A nivel industrial existen diversos modelos de biodigestores, siendo habitual una agitación mecánica de la mezcla, una regulación de la temperatura y unos volúmenes de entre centenares a miles de m³. A nivel rural o doméstico, la tecnología es algo distinta, con volúmenes menores (entre 5 - 20 m³) y sin elementos de regulación o agitación, con la finalidad de reducir el coste. A nivel doméstico hay tres tipos principales de biodigestores:

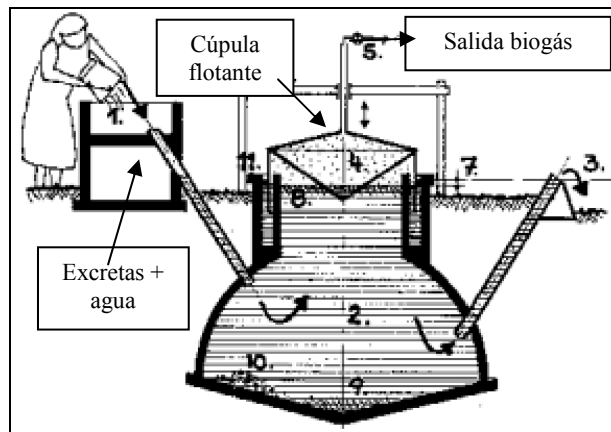
D. Tipo chino: estos biodigestores consisten en una cámara enterrada construida con ladrillo o concreto, con dos conductos (uno de entrada y otro de salida) y una abertura superior donde va instalada la conducción de biogás (ver Figura N° 10). Su peculiaridad es la cúpula fija en la parte superior. Esta inmovilidad hace que la presión del gas en el interior varíe en función de su producción y consumo.

Fig. 10 – Biodigestor tipo chino (Kossmann, s.d.)



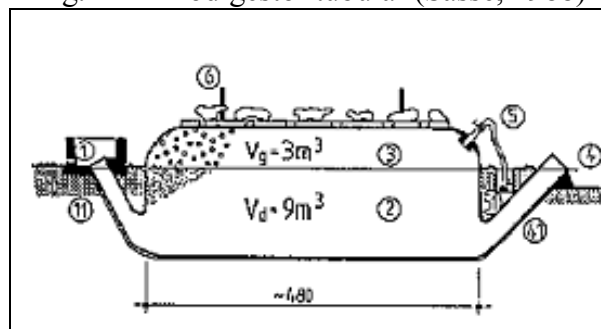
B. Tipo hindú: estos biodigestores son muy parecidos a los anteriores, excepto por el hecho de que en los de tipo hindú la cúpula es flotante, es decir que sube o baja en función de la presión interna de biogás (Figura 11).

Fig. 11 – Biodigestor tipo hindú (Sasse, 1988)



C. Tipo tubular: estos biodigestores consisten en una manga de plástico a la que se le instalan unos tubos en los extremos que hacen las veces de tubos de entrada y salida (Figura 12). Este tipo de biodigestor es mucho más barato que los anteriores, pero con una vida más corta, debido a la menor durabilidad de sus materiales.

Fig. 12 – Biodigestor tubular (Sasse, 1988)



Para pequeños productores, la tecnología más apropiada es la biodigestión en los digestores tubulares. Por sus características constructivas y por su bajo costo son una alternativa adecuada para gestionar las excretas y otros residuos orgánicos de la granja de modo que su revalorización los integra de nuevo a los sistemas de producción de la propia granja.

Por ello en base a la investigación desarrollada, durante la construcción, evaluación y seguimiento de los 14 biodigestores implementados en el Parque Porcino de Ventanilla, se ha desarrollado una herramienta que describe todo el proceso de construcción, operación y mantenimiento de un biodigestor tubular, así como el proceso de construcción de las instalaciones para el uso del biogás que se obtiene.

BIODIGESTOR TUBULAR DE PLÁSTICO

Un sistema de digestión anaeróbica mediante digester tubular de plástico está compuesto de las siguientes partes:

- a. **Cámara de entrada:** Donde se mezcla la proporción adecuada de excretas y agua y se homogeneiza antes de su introducción al biodigestor.
- b. **Manga (biodigestor):** Recipiente hermético con el volumen necesario para otorgar un tiempo de residencia adecuado para la degradación anaerobia de la materia orgánica y transformación en biogás, entre otros productos.
- c. **Cámara de salida:** Almacena el biol que sale del biodigestor.
- d. **Invernadero:** construcción de plástico, que permite alcanzar una mayor temperatura acumulando el calor de la radiación solar. De este modo se aumenta el rendimiento de la producción de biogás. También sirve como elemento de protección del biodigestor frente a elementos externos (perros, gallinas, etc.).
- e. **Reservorio de gas:** Aparato utilizado para almacenar el gas producido por el biodigestor. Consiste en una manga de plástico conectada directamente a la conducción de salida del biogás del biodigestor.

DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR

Para dimensionar el biodigestor se necesita conocer la cantidad de excretas generadas en la granja diariamente. A partir de ahí, con unos sencillos cálculos se puede determinar el tamaño del biodigestor.

1. Una vez conocido el volumen de excretas diaria, se puede calcular la cantidad de agua necesaria para hacer la dilución, ya que ésta es 1:4. Por lo tanto:

$$\text{Volumen diario agua} = 4 * \text{Volumen diario de excretas}$$

2. El volumen de la carga diaria que se introducirá en el biodigestor será la suma del volumen diario de excretas y agua:

$$\text{Vol. carga diaria (L)} = \text{Vol. diario agua (L)} + \text{vol. diario excretas (L)}$$

3. El tiempo de residencia de la mezcla en el biodigestor ha de ser de 40 días. Por tanto, para calcular el volumen líquido del biodigestor:

$$\text{Vol. líquido biodigestor (L)} = \text{Vol. carga diaria (L)} * 40 \text{ días}$$

4. El líquido debe ocupar el 80% del volumen total del biodigestor. Así el 20% restante lo ocupará el biogás generado en el proceso de fermentación:

$$\text{Vol. total biodigestor (m}^3\text{)} = \text{Vol. líquido biodigestor (L)} / (0,8 * 1000)$$

5. El biodigestor consiste en una manga de geomembrana de PVC. El ancho de rollo utilizado en el presente trabajo es de 1,45 m, pero podrían usarse otros anchos en función de la longitud del biodigestor (más ancho cuanto más largo) y del proveedor de la manga¹. La relación entre longitud y diámetro en un biodigestor debería estar entre 5:1 y 10:1. Sabiendo el volumen total del biodigestor y el ancho de rollo de la manga, se puede calcular la longitud de ésta:

$$2 * \text{Ancho de rollo (m)} = 2 * \pi * \text{radio sección biodigestor (m)}$$

$$\begin{aligned} \text{Long. manga (m)} &= \text{Vol. total biodigestor (m}^3\text{)} / \text{Sección biodigestor (m}^2\text{)} \\ &= \text{Vol. total biodigestor (m}^3\text{)} / (\pi * (\text{radio sección biodigestor (m)})^2) \\ &= \text{Vol. total biodigestor (m}^3\text{)} / ((\text{ancho de rollo (m)})^2 / \pi) \end{aligned}$$

6. Por último, se debe sumar 1 m a la longitud obtenida con el cálculo anterior, ya que se necesita un trozo de manga extra para poder hacer la instalación de los tubos de entrada y de salida (tal y como se verá más adelante).

A modo de resumen de estos cálculos, se presenta el cuadro N° 16.

¹ Para más información entre la relación longitud/diámetro del biodigestor se puede consultar el trabajo de Poggio, 2007.

Cuadro 16 Resumen de los cálculos para dimensionar un biodigestor

Concepto	Cálculo
Volumen diario de excretas (L) ² , V_{de}	-
Volumen diario de agua (L), V_{da}	$V_{da} = 4 \cdot V_{de}$
Volumen carga diaria (L), V_d	$V_d = V_{da} + V_{de} = 5 \cdot V_{de}$
Tiempo de retención (días), TR	40 días
Volumen líquido biodigestor (L), V_L	$V_L = TR \cdot V_d = 40 \cdot V_d$
Volumen total biodigestor (m ³), V_T	$V_T = V_L / (1000 \cdot 0,8)$
Longitud de la manga (m), L	$L = V_T / ((AR^2) / \pi)$

INSTALACIÓN DE UN BIODIGESTOR TUBULAR DE PLÁSTICO

El digestor que se describe en este capítulo y que formará parte del manual que se distribuirá a los granjeros que deseen replicar la experiencia es del tipo tubular de plástico, pero con una serie de adaptaciones al marco geográfico en el cual se ha desarrollado, el Parque Porcino de Ventanilla. Este digestor tiene unas dimensiones adecuadas para el tratamiento de 20 kg de excretas diarias, con una proporción de mezcla de excretas y agua de 1:4 (es decir, 20 kg de excretas y 80 L de agua).

Este biodigestor se construye con un tipo de plástico tubular especial -geomembrana de PVC- más resistente que el plástico de polietileno que se usa habitualmente para este tipo de biodigestores. La razón para ello es su mayor grosor y por tanto mayor resistencia ante pinchazos o golpes y su mayor durabilidad.

A continuación se detalla de forma narrativa la construcción de los diferentes elementos que integran el sistema de producción de biogás. Al principio de cada sección se listan las herramientas y materiales necesarios en cada una de ellas.

Cabe destacar que todos los materiales señalados a lo largo del documento están disponibles en el mercado nacional.

² Se asume que la densidad de las excretas es 1 kg/L, de modo que se utilizará la unidad de volumen (L) que es más sencilla de medir (con balde) y que servirá también para el agua.

PREPARACIÓN DE LA ZANJA

Materiales y herramientas:

- 12 parihuelas (1 m x 1 m aprox.)
- 12 listones de unos 70 cm de largo
- 12 listones de unos 115 cm de largo
- 20 listones para unir las parihuelas de 80 - 100 cm largo
- Paja
- Una manga de plástico de ancho de rollo 1,5 m y 8,5 m de largo
- Palas
- Manguera de plástico transparente 3/8" (para nivelar)

ELECCIÓN DEL LUGAR

Hay que elegir una ubicación adecuada para el biodigestor. Éste debe estar cerca de los corrales y debe ubicarse de manera que la poza de recogida de los canales de limpieza de los corrales quede a un nivel superior de la boca de entrada del biodigestor, para que la carga del biodigestor pueda realizarse por gravedad sin grandes esfuerzos. Además, hay que tener en cuenta que el efluente del biodigestor tendrá que ingresar en los humedales, de manera que hay que reservar un espacio a la salida del digestor (idealmente a un nivel inferior) para la construcción de los humedales.

CAVADO DE LA ZANJA

La zanja deberá ser excavada con la suficiente precisión, en la figura 13 se muestran las dimensiones recomendadas.

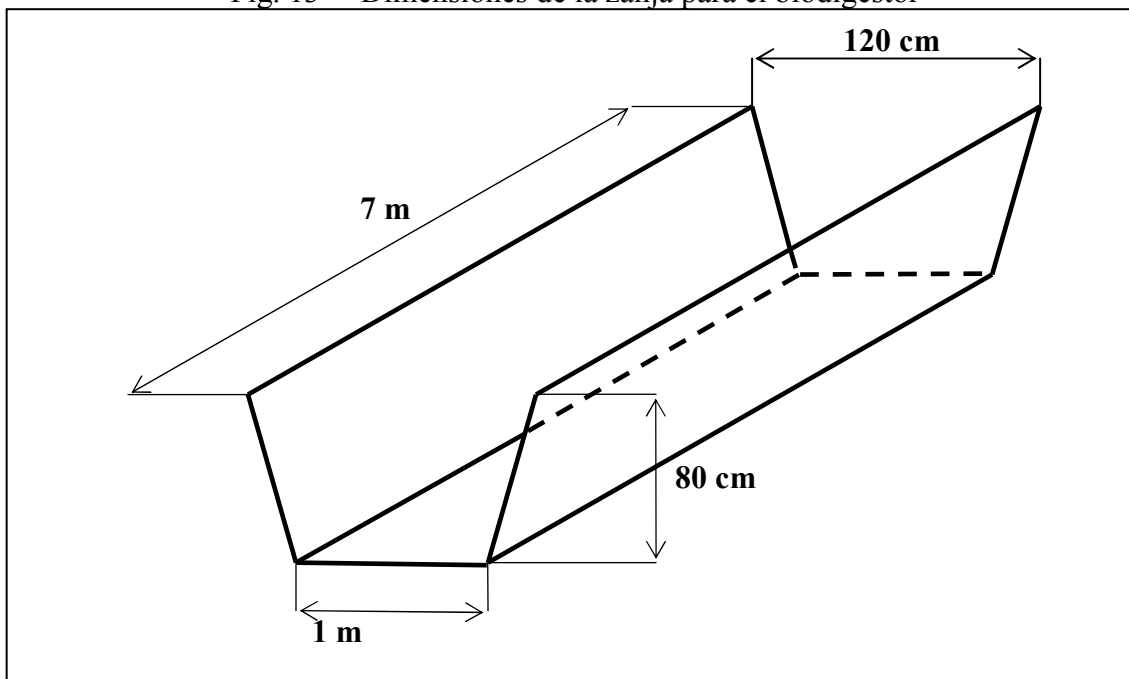
Profundidad: La profundidad de la zanja será de 80 cm (de esta manera la parte superior de las parihuelas quedará por encima del nivel del suelo).

Longitud: La longitud de la zanja será la del biodigestor, 7 m, o la de la longitud de las parihuelas necesarias para hacer las paredes.

Anchura: La zanja tendrá una anchura de 1 m en la parte inferior.

Nivel del piso: El piso deberá estar nivelado. En caso de que presente un desnivel, este deberá ser descendiente hacia la salida del biodigestor, con una pendiente máxima del 2% (p. ej. para 7 m de longitud, sería un desnivel de 14 cm).

Fig. 13 – Dimensiones de la zanja para el biodigestor



Nota: En caso que el terreno tenga un desnivel pronunciado, la profundidad de la zanja variará a lo largo de la misma, ya que el piso de la zanja debe ser horizontal. En este caso, lo ideal será cavar la zanja en dirección perpendicular a la caída del terreno. En caso que esto no sea posible, el criterio a seguir para determinar la profundidad de la zanja es que la parihuela situada en la parte más alta deberá sobresalir por lo menos 15 cm sobre el nivel del suelo. Esto significa una profundidad en este punto de 1 m. En este caso, si en la parte más baja del terreno la zanja quedase con una altura de pared muy baja, se aumentará ésta con arena, amontonándola en forma de talud para sujetar las parihuelas.

PREPARACIÓN DE LA CAMA DEL BIODIGESTOR

Para evitar el derrumbe de las paredes de arena a lo largo del tiempo, se dispondrán las parihuelas a lado y lado de la zanja, a modo de contención (foto 24). Las parihuelas se rellenarán previamente con paja, para proporcionar un mayor aislamiento térmico. Una

vez rellenas, se unirán una junto a la otra hasta completar las dos paredes de 6 parihuelas. Irán unidas con maderas como se puede apreciar en la foto 22.



Foto 22 Unión de las parihuelas

Una vez realizada esta operación, se cubrirá la parte posterior de la parihuela con un plástico (manga de 1,5 m de ancho cortada a lo largo), fijando el plástico con clavos (Foto 23). De este modo se evitará que la arena entre hasta el digestor a través de las parihuelas. En el plástico se dibujan unas marcas a 50 cm de distancia de la base inferior. Estas marcas serán útiles posteriormente, cuando se rellene con arena los bordes de la zanja.



Foto 23 Fijando el plástico por detrás de las parihuelas

INSTALACIÓN DE LA CUNA DEL DIGESTOR

Una vez listas las dos paredes de parihuelas, se llevará, entre varias personas, cada pared hasta su ubicación final en la zanja del digestor. Las parihuelas se colocarán de modo que la cara protegida por el plástico quede en la parte externa. Las parihuelas deberán estar separadas unos 70 cm en la parte inferior y unos 95 cm en la parte superior.

Nivelación de las parihuelas: En el momento de colocar las parihuelas se comprueba que las paredes (formadas por éstas) estén bien niveladas, corrigiendo su alineación si no están a nivel. Para ello se utiliza un nivel consistente en una manguera plástica transparente llena de agua.

Fijación de las parihuelas: Con los listones de 115 cm se unen las paredes, clavando éstos en la parte superior de las parihuelas de manera transversal (Foto 24). Si los listones miden 115 cm, al clavarlos con los extremos alineados a la parte exterior de la parihuela, la distancia entre las parihuelas en la parte superior será de 95 cm. Si los listones utilizados son de otra medida, se deberán ajustar para que la distancia entre las parihuelas sea siempre de 95 cm.



Foto 24 La zanja con las parihuelas colocadas

Para fijar la distancia entre las paredes por su parte inferior, se colocan varios listones de 70 cm de largo entre las paredes, de manera que el listón quede en contacto con ambas paredes. Se colocarán dos listones por cada par de parihuelas.

CONSTRUCCIÓN DEL INVERNADERO

Materiales y herramientas:

- Plástico para invernadero³
 - 4 trozos de 2 m x 3 m (paredes y techo)
 - 2 trozos de 1,2 m x 1,5 m (entrada y salida)
- 7 columnas de madera 2" x 2" de 120 cm largo
- 7 columnas de madera 2" x 2" de 80 cm de largo
- 7 parantes de madera 2" x 1" de 135 cm de largo (unión transversal de columnas)
- 14 maderas 2" x 1" de 110 cm de largo (unión longitudinal de columnas)
- Clavos 2"
- Listoncitos de unos 30 cm de largo (para fijar el plástico)
- Martillo

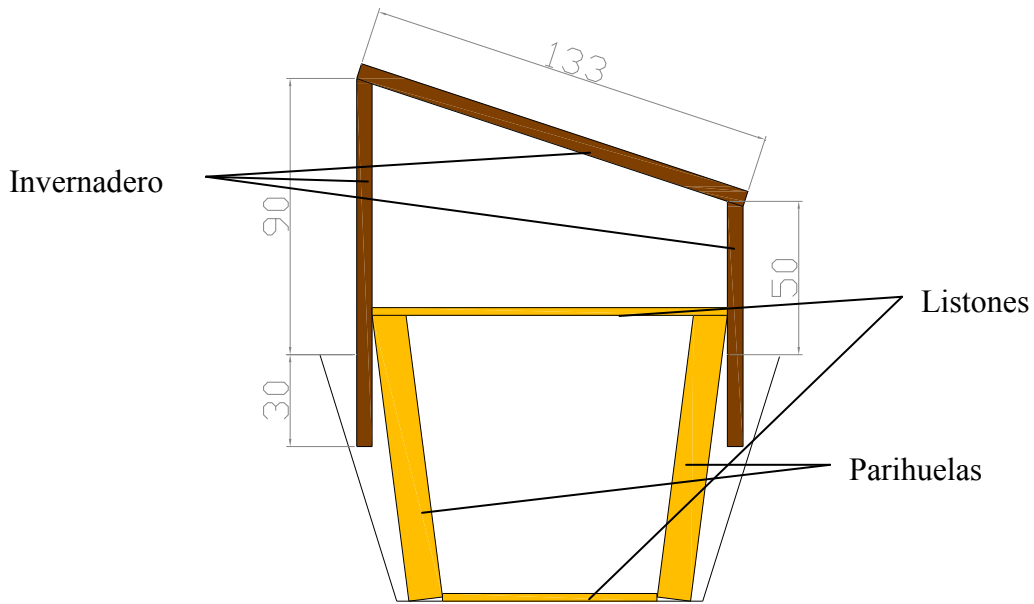
Las dimensiones del invernadero se muestran en la figura 14.

Instalación de las columnas

Antes de la colocación de la manga hay que colocar las columnas para el invernadero. Éstas van apoyadas en las parihuelas, entre éstas y la pared de arena, introducidas en la arena unos 30 cm. Se ponen 7 columnas a cada lado, dos en los extremos y, las otras 5 restantes, en cada punto de unión de dos parihuelas.

³ En este caso se adquirió un plástico de invernadero de ancho de rollo 2 m. De ahí se calculó que las medidas óptimas para los trozos eran las que se presentan. En caso de tener un plástico con un ancho de rollo distinto, es posible que haya que recalcular el tamaño de los trozos.

Fig. 14 – Dimensiones del invernadero

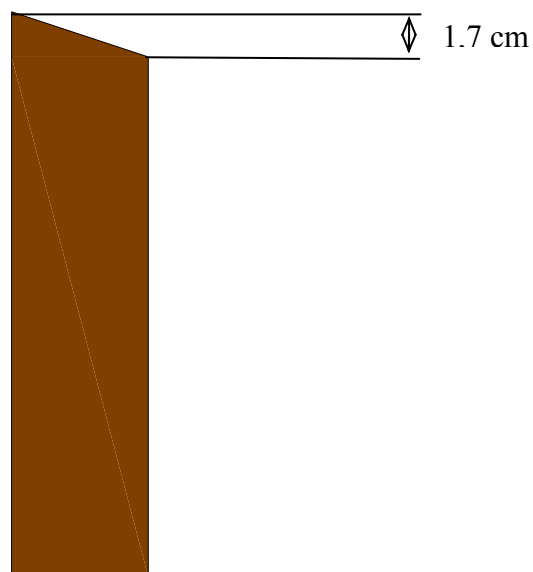


Las dimensiones de las columnas son 120 cm de largo un lado y 80 cm de largo el otro lado y 2 x 2”.

Hay que tener en cuenta la pendiente del terreno, es posible que se necesiten columnas más largas en la parte más baja del terreno, ya que las columnas deben ir enterradas por lo menos 30 cm, para que queden suficientemente sujetas.

Para poder clavar bien las maderas del techo con los parantes, habrá que recortar el extremo superior de estos últimos según la figura 15.

Fig. 15 – Extremo superior de los parantes



Rellenado con arena

Una vez colocadas todas las columnas, se rellena con arena el espacio que queda por la parte posterior de las parihuelas. Como mínimo, éstas deberán ir enterradas unos 50 cm (es decir, se rellena con arena por lo menos hasta cubrir la marca realizada en el plástico de la parte posterior de las parihuelas).

Construcción del techo

Una vez colocadas las columnas, se unirán entre sí, de un lado al otro de la manga con los parantes de 135 cm y también a lo largo, con los de 110 cm. (ver Foto 25).



Foto 25 Colocación de columnas y armazón de techo del invernadero

Colocación del plástico

Una vez terminada la estructura del invernadero (ver foto 26), se coloca el plástico. Los trozos irán colocados en sentido transversal, es decir, se coloca en la base de las columnas en un lado, se pasa por encima del techo del invernadero y se coloca en la base de las columnas del otro lado. Esta acción se realiza 4 veces, viendo que los trozos queden uniformemente repartidos. Por último, se colocan las partes frontal y lateral.

Es importante que el plástico quede bien tenso, para que el aire no lo levante. Por otro lado también es importante no tensarlo en exceso para evitar roturas.

El plástico debe estar bien clavado en la estructura de madera. Para clavarlos, se pone un listoncito de madera encima del plástico y se clava este listón a la madera, de modo que el plástico quede aprisionado por el listón (Foto 26). De este modo la presión de sujeción del plástico se reparte más uniformemente que sólo con el clavo y se evitará su rotura.



Foto 26 Listones para el clavado del plástico de invernadero

En la parte central de la zanja, se dejará sin clavar el plástico en las columnas de un lado. En esa zona será donde irá colocada la conducción de salida del biogás y por lo tanto se debe tener acceso al interior del invernadero para poder realizar su instalación posteriormente. Una vez instalada, se podrá clavar el plástico de invernadero a las columnas.

CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR

Materiales y herramientas:

- Plástico para desplegar encima la manga (de dimensiones mayores a las de la manga)
- Una manga de geomembrana de PVC de 8 m de longitud y 145 cm de ancho de rollo (espesor 500 micras)

- Un niple especial (pasamuros) de tubería de agua de PVC de ½” (con empaquetadura y contratuerca de bronce)
- Dos discos de jebe (caucho) de unos 15 cm de diámetro y 0,5 cm de grosor, con un agujero en el centro de ½”
- Dos discos de PVC rígido o nylon de unos 10 cm de diámetro⁴ y 0,5 cm de grosor, con un agujero roscado en el centro de ½”
- Dos tubos de agua de PVC de 6” de 1m de largo (tubo rígido)
- Bandas de jebe⁵
- Válvula de bola PVC ½” agua roscada
- Adaptador PVC ½” agua rosca-presión
- Unión universal PVC ½” agua presión
- Pegamento para PVC
- Cinta de Teflón®
- Llave Stilson/inglesa/francesa/
- Taco de madera
- Martillo
- Sacabocados ½”
- Alicates

Montaje de la salida del gas

El primer paso para montar la manga será construir la válvula por la cual saldrá el biogás generado dentro de la manga.

Despliegue de la manga: Se tiende uno o diversos plásticos sobre el suelo, de tamaño superior al de la manga. Su función es la de evitar que la manga toque el suelo, ya que podría dañarse con alguna piedra o madera, además de llenarse de arena. Hay que intentar limpiar de piedras puntiagudas la zona en la que se va a extender el plástico. Sobre este plástico se despliega con cuidado la manga (Foto 27), intentando evitar en la medida de lo posible que el plástico se llene de arena.

⁴ Los diámetros de los discos de jebe y PVC rígido son aproximados. Lo importante es que el disco de jebe sea más grande que el de PVC.

⁵ Las bandas de jebe se fabrican a partir de llantas de carro usadas. Partiendo desde la válvula, se empieza a cortar en espiral, vigilando que quede una banda de jebe de unos 3-4 cm de ancho.



Foto 27 Manga desplegada sobre plástico.

Perforación para la salida del gas: Para marcar el sitio donde se hará el agujero de salida del gas, hay que asegurarse que está exactamente en el medio (a lo ancho) y preferiblemente un poco más cerca de la entrada que de la salida (si la manga es de 8 m, pues a 3 - 3,5 m de la entrada). Para hacer el agujero se introduce un taco de madera en el interior de la manga (se puede introducir un brazo en la manga, con el taco en la mano, e ir arrugando la manga hasta llegar al punto deseado), y se coloca justo debajo del punto donde se va a hacer el agujero. Con la ayuda de un sacabocados de ½” y un martillo, se hace el agujero, golpeando con cuidado con el martillo sobre el sacabocados (Fotos 28 y 29)



Foto 28 y Foto 29 Perforación de la salida del gas

Montaje de la válvula de salida: se rosca en el niple especial una contratuerca de bronce, un disco de PVC rígido y un disco de jebe (Foto 30).



Foto 30 Niple especial en el interior de la manga (pieza de PVC⁶ + disco PVC + disco jebe)

Entonces se introduce toda la pieza dentro de la manga y se hace pasar el niple por el hueco que se acaba de hacer a la manga, de modo que el disco de jebe quede en contacto con la parte interna de la manga y sólo asome el tubo de ½" roscado (foto 31).



Foto 31 Niple atravesando la manga con el disco de jebe, el de PVC y la contratuerca debajo de la manga

Desde fuera se rosca el disco de jebe, el disco de PVC rígido y la otra contratuerca de bronce, por este orden (Foto 32).

⁶ En la foto aparece esta pieza de PVC (color blanco) que es la que se usó en el primer biodigestor. Entonces se vio que no era una pieza adecuada y se substituyó en los posteriores por una contratuerca de bronce.



Foto 32 Salida del gas: contratuercas de bronce, disco de PVC y disco de jebe

Al final, la disposición debe ser: contratuercas – PVC – jebe – manga – jebe – PVC – contratuercas (Foto 33).

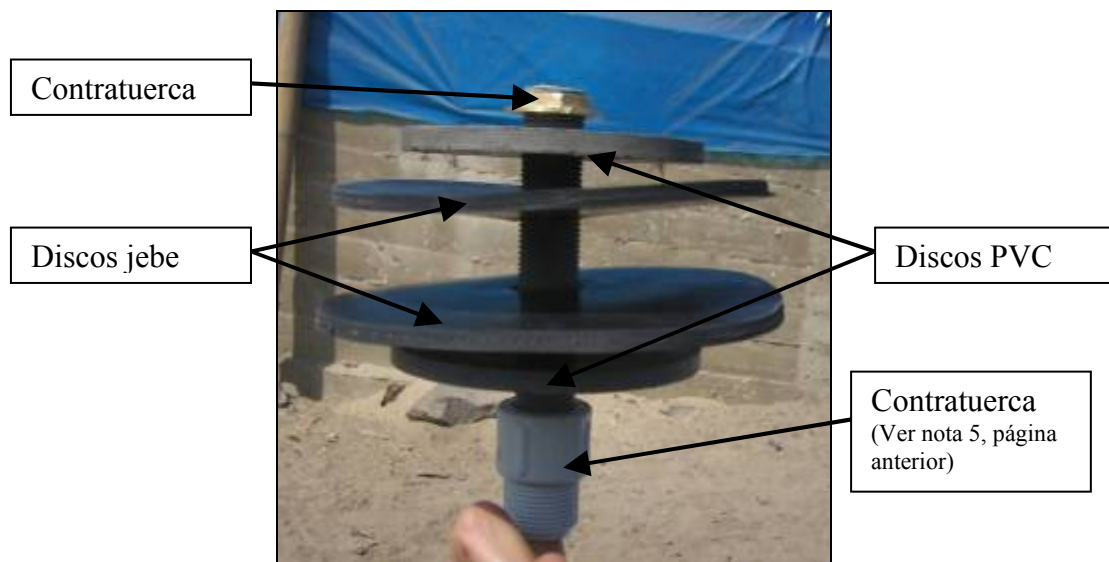


Foto 33 Disposición de los elementos de la salida del gas

Se puede poner unas vueltas de cinta de teflón en la zona donde irán los discos de PVC roscados y donde irá la manga, como se aprecia en la Foto 33.

Se coloca a continuación una válvula roscada, luego un adaptador rosca-presión y a continuación una unión universal a presión.

Instalación de los tubos de entrada y salida

A continuación se prepara la entrada y la salida del digestor, es decir, el tubo por el cual se introducen las excretas (entrada) y el tubo por el cual saldrá el fertilizante, o biol (salida).

Preparación del tubo: Primero se dan un par de vueltas de jebe alrededor del tubo, justo en uno de sus extremos (Foto 34). Esto es con el fin de evitar que el tubo, al rozar con la manga, pueda dañarla. Así que es importante asegurar bien el jebe y asegurarse de que evita el contacto directo entre el extremo del tubo y la manga.



Foto 34– Tubo de entrada con jebe en el extremo que irá dentro de la manga (en la foto se aprecia también la manga encima del plástico)

Colocación del tubo en la abertura de la manga: A continuación se introduce el tubo (el extremo con jebe dentro de la manga) por una de las aberturas de la manga, dejando unos 15 cm de tubo fuera de la manga. Hay que vigilar que el tubo esté justo en la parte central de la manga y no desplazado hacia un lado. Entonces se empieza a doblar la manga por un lado, como si fuese un acordeón, haciendo pliegues de unos 8 – 10 cm, hasta llegar al tubo (Foto 35). Se hace lo mismo también al otro lado del tubo y cuando se tiene el tubo con los dos grupos de pliegues junto a él, se amarra todo el conjunto con jebe.

Amarre del tubo con jebe: Este primer amarre se hace a unos 50 cm del extremo de la manga (si se han dejado 15 cm de tubo fuera de la manga, este amarre irá a unos 65 cm

del extremo del tubo). En este primer amarre se da una vuelta de jebe al tubo y se le hacen un par de nudos, para a partir de aquí ir en espiral en dirección al extremo de la manga. Es muy importante que el jebe esté bien tenso, por lo cual hay que ir tensando constantemente el jebe, mientras se enrolla⁷ (Foto 35).



Foto 35 Fijación del tubo de entrada, con la tira de jebe y la manga doblada en acordeón

Una manera de ver si el jebe está bien tenso es pasar el dedo por encima, desde donde se amarró el jebe hacia la salida del tubo, y si no se levanta el jebe con el dedo, es que está bien tenso (Fotos 36 y 37).



Foto 36 Jebe poco tenso



Foto 37 Jebe colocado correctamente

La banda de jebe debe ir avanzando hacia la salida del tubo, pero debe irse solapando siempre. Es muy importante que cubra completamente la manga, es decir, que entre dos vueltas de jebe no se vea la manga. Se van dando vueltas al jebe hasta llegar al final de

⁷ No importa si el tubo se deforma un poco debido a la fuerza aplicada al tensar el jebe, siempre y cuando esta deformación no sea exagerada.

la manga⁸. A partir de aquí aun se darán 3 o 4 vueltas más (5 – 6 cm más allá del final de la manga) y entonces se amarra. Para amarrar el final del jebe, es muy práctico hacerlo con la ayuda de con unos alicates, tal como se muestra en la foto 38.



Foto 38 Los alicates ayudan a hacer el nudo final

El otro tubo se monta exactamente de la misma manera que este primero.

COLOCACIÓN DE LA MANGA EN LA ZANJA

Materiales y herramientas:

- Manga de plástico de 1,5 m de ancho de rollo por 8 m de largo (para cubrir la zanja)
- Clavos 1”
- Trocitos de jebe
- Martillo
- 2 tablones de 100 x 100 cm
- Sierra
- 4 estacas de 0,5 m largo
- 5m de alambre

La colocación de la manga en la zanja es una acción sencilla, pero hay que estar bien atento en poner correctamente la manga sin que quede ninguna arruga.

Preparación de la cama del digestor

Antes de poner la manga en la zanja, se cubren las parihuelas con plásticos, para evitar que alguna astilla pudiese dañar la manga. Para ello se usa una manga de plástico de

⁸ Si se rompiese el jebe, sencillamente se hace un nudo de la banda amarrada y la banda por poner y se continúa enrollando el jebe. Se puede dar una vuelta extra en ese punto para mayor seguridad.

ancho de rollo 1,5 m y 8 m de largo. Este plástico se corta a lo largo, de modo que se obtienen trozos de plástico de 3 m de ancho. Se extiende en el interior de la cuna, cubriendo tanto las parihuelas como el suelo, así como también los tablonces de madera de la entrada y la salida (Foto 39).



Foto 39 Colocación del plástico (amarillo) por encima de las parihuelas

Se clava el plástico en la parte superior de la parihuela, con clavos de 1" y unos cuadraditos de jebe, de esta manera se clava el clavo al jebe y luego el plástico a la parihuela de manera que quedará: parihuela-plástico-jebe-clavo.

Colocación de la manga

Con cuidado se lleva la manga entre varias personas y se coloca en su sitio, encima del plástico amarillo protector. Ahora se debe colocar la manga de modo que quede bien doblada (la parte central tocando el suelo, los bordes doblados encima), tal y como se aprecia en la figura 16 y la Foto 40.

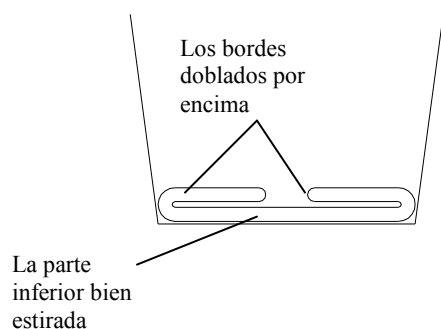


Fig. 6 y Foto 40 Colocación de la manga en la zanja

Los tubos de entrada y salida se colocarán de momento mirando hacia fuera de la zanja (es decir, que los extremos de la manga no irán doblados. Foto 41)



Foto 41 Manga instalada en la zanja con tubo de entrada mirando hacia fuera

Acondicionamiento de la entrada y la salida

Una vez colocada la manga en su lugar hay que preparar la parte frontal y posterior del digestor, es decir, la entrada y la salida.

Colocación de un tablón de contención: Tanto en la entrada como en la salida de la zanja se colocará una tabla de madera de 100 x 100 cm (la altura de la tabla deberá ser más o menos la altura de las parihuelas). En la tabla, se hará un corte en la parte central de 20 cm de ancho, y a una distancia de la parte inferior de 40 cm. En esta ranura irán ubicados los tubos de entrada y de salida de la manga (Figura 17 y foto 42).

Fig. 17 – Dimensiones de la tabla de entrada y salida

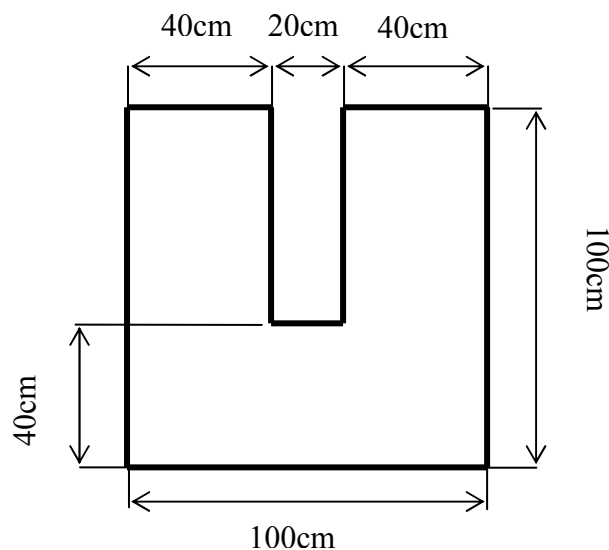




Foto 42 Tabla de contención colocada

Desde el punto inferior de esta ranura, se excava un canal inclinado hacia la superficie del terreno. La inclinación óptima es de unos 45°.

Esta pendiente posiblemente deberá ser variada posteriormente al colocar los tubos en su lugar.

Si la tabla no es muy gruesa (menos de 3 cm de espesor), se deberán colocar listones transversales detrás de la tabla, para que ésta aguante el peso de la arena y no se doble hacia dentro.

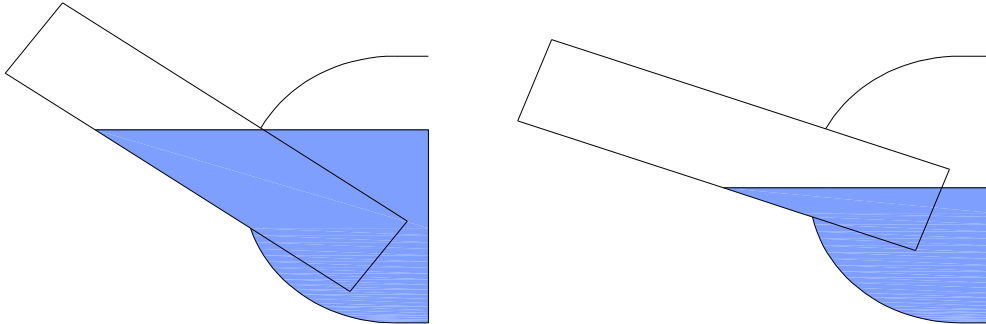
Fijar las alturas de los tubos de entrada y salida

Una vez colocada la manga y los tablones de contención se deberán fijar bien los tubos de entrada y salida. La altura de estos tubos es importante por dos razones:

1. Asegurar que no entre aire en la manga por los tubos de entrada
2. Definir la altura del líquido dentro del digestor, y por tanto, el volumen líquido del digestor.

La primera razón se justifica de la siguiente forma. La inclinación y altura del tubo determina la parte que quedará llena de líquido, este líquido hará de sello hidráulico, impidiendo la entrada de aire a la manga, y por tanto, mantendrá el ambiente anaeróbico. En la figura 18(a) se observa como el agua en el interior del tubo bloquea la entrada de aire en el biodigestor. En cambio, en la figura 18(b), el extremo inferior del tubo no está totalmente lleno de agua, y el aire puede entrar en el biodigestor. Es muy importante que el biodigestor quede en una posición como (a), y nunca como (b), ya que no funcionaría.

Fig. 18 – (a) Sello hidráulico. No entra aire por el tubo (b) Entra aire por el tubo

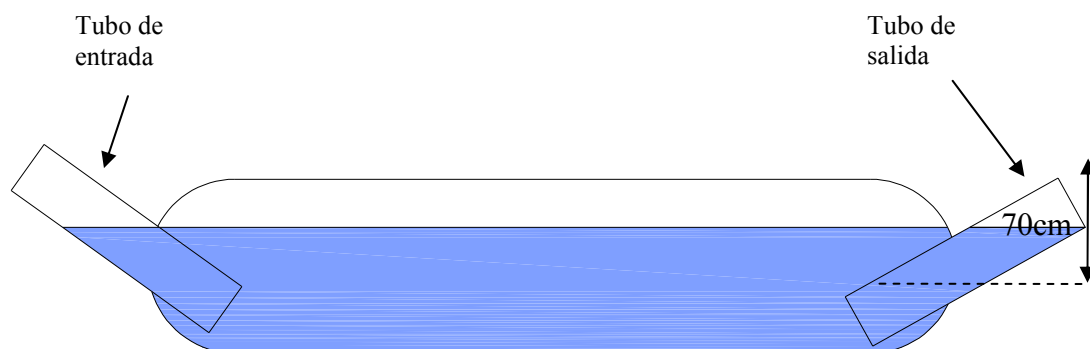


La segunda razón se basa en el principio de los vasos comunicantes. La altura del líquido dentro de la manga será la misma que en los tubos (ver figura 19), tanto de entrada como de salida. Así, si se añade la carga por la entrada, el nivel del líquido subirá hasta que llegué a rebosar por el tubo de salida. Si se baja el tubo de salida, el nivel del líquido bajará. Si se sube, el digestor se llenará con las nuevas cargas hasta que el nuevo nivel de carga llegue al borde inferior del tubo de salida.

La altura del tubo de salida deberá de ser 70 cm. desde el nivel del piso de la zanja. Para lograr que el tubo esté a esa altura se debe apoyarlo sobre el tablón de contención.

Para poner el tubo a 70 cm será útil marcar primero esa altura en las parihuelas, con un lapicero o un plumón o marcador, y luego con la ayuda de esa marca y una manguera de nivel, determinar la altura del tubo.

Fig. 19 – Nivel del líquido en el interior del biodigestor



El tubo de entrada no tiene una altura determinada. La única restricción es que esté por encima del tubo de salida y su inclinación siga evitando el ingreso de aire en la manga. Una altura recomendada sería que el nivel de carga estuviese a la altura de la mitad del jebe del tubo de entrada.

Fijación de los tubos

Para fijar bien los tubos en su posición, se clavan dos estacas en el suelo, a una cierta distancia del tubo (0,5 – 1 m), y se ata un alambre (doble) a esas estacas y luego al tubo, mediante unos agujeros que se hacen al tubo con un clavo ardiendo (con cuidado de no rajarlo). Una vez colocado el alambre, se tensará poniendo un clavo entre los dos alambres y dando vueltas Ver foto 43.

¡Es muy importante fijar los tubos! Si no se hace, a la hora de cargar el peso del agua jalaría los tubos hacia abajo, disminuyendo el tamaño final del digestor.

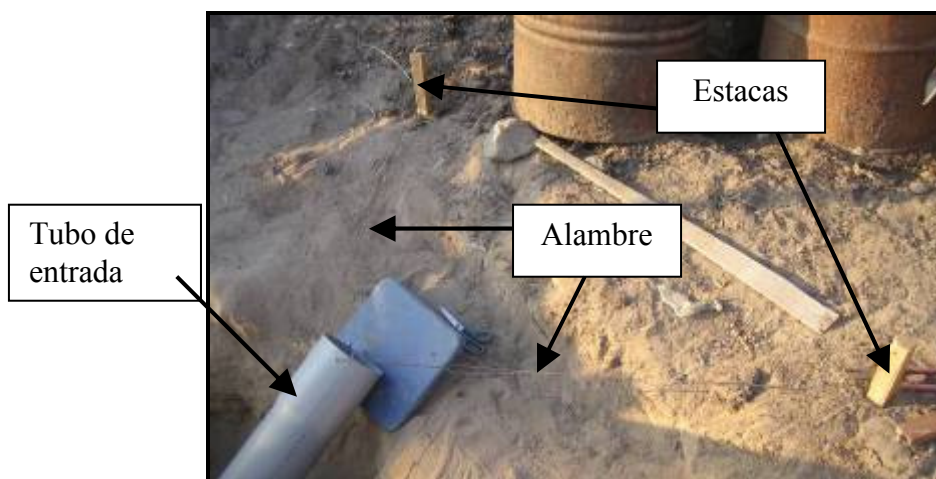


Foto 43 Tubo de entrada sujetado por alambres y estacas

Finalmente sólo queda comprobar que la manga tiene aproximadamente las dimensiones planeadas: longitud de la manga (de jebe a jebe, sin incluirlo), altura del tubo de salida, comprobar que el tubo no toca la parte inferior interna de la manga y, finalmente y una vez ha empezado la carga y operación del digestor, comprobar que el nivel de carga está por encima del extremo del tubo que se encuentra en el interior del biodigestor (para evitar que entre aire).

Durante la réplica de los modelos se mejoro la entrada y salida de los biodigestores construyendo un tanque mezclador y un tanque de almacenamiento del biol como se pueden apreciar en las fotos 44 y 45.

Construcción del tanque mezclador:

Para el tanque mezclador los obreros realizaron el encofrado de un cajón de 1 m de largo, 1 m de ancho y 60 cm de profundidad ubicado en la parte anterior de la cama del biodigestor. Se encofrará el conducto de entrada en la base del tanque mezclador y se dejará una abertura de 16 cm de ancho y 60 cm de alto en la zona de contacto con el conducto de entrada.

El piso del tanque mezclador debe poseer una ligera pendiente que favorezca el desplazamiento del afluente hacia el interior del biodigestor.

Se acoplan dos líneas a cada lado de esta entrada para la posterior colocación de las compuertas de paso.



Foto 44 La compuerta de entrada debe ubicarse en la posición central del tanque, justo enfrente del conducto de entrada.

Construcción del tanque recolector de biol:

Para el tanque recolector de biol se realiza el encofrado de un cajón de 1,60 m de largo, 1,30 m de ancho y 70 cm de profundidad ubicado en la parte posterior de la cama del biodigestor. Se encofrará el conducto de salida de manera que el borde inferior del extremo final del conducto se encuentre a 70 cm sobre el nivel de la cama del biodigestor.



Foto 45 Medición, corte e instalación del conducto de salida

CARGADO DE LA MANGA

Materiales:

- Agua
- Excreta de cerdo
- Líquido de biodigestor activado o rumen de vaca
- Carretillas
- Lampas
- Baldes
- Cilindros
- Guantes
- Malla
- Medio cilindro con hueco superior (embudo)
- Rastrillo o alguna herramienta para mezclar
- Pita

Una vez colocada la manga en su lugar y fijados los tubos, es el momento de cargar el biodigestor, es decir, de llenar la manga con la mezcla adecuada de agua, estiércol e inóculo. Las cantidades de cada uno de estos elementos a introducir varían en cada biodigestor, siendo habitual una proporción de agua: estiércol de 4:1 y una proporción de inóculo de un 10 % del cargado inicial. El inóculo sólo se introducirá en el cargado inicial. Posteriormente las cargas diarias sólo consistirán en agua y estiércol (o mejor aún, orines en sustitución del agua). Como inóculo se usará el líquido contenido en otro biodigestor activo, o en su defecto, rumen de vaca. El rumen funciona, pero la activación del biodigestor demorará más debido a que las bacterias metanogénicas del rumen deberán acostumbrarse al nuevo sustrato, la excreta de cerdo. En el caso de usar el líquido de otro biodigestor la activación será mucho más rápida, ya que sus bacterias están ya adaptadas a la excreta porcina.

Llenado de la manga:

- **Agua:** Se llenan algunos cilindros con agua y de ahí se irán llenando los baldes que servirán para contar la cantidad de agua que se introduce. También se puede introducir directamente la manguera en la boca del digestor, midiendo el tiempo y habiendo evaluado el caudal se puede saber el volumen de agua introducido.
- **Estiércol:** El estiércol deberá estar bien almacenado en cilindros cerrados, de modo que tenga el mínimo contacto con el aire y esté lo menos seco posible. Si la excreta está seca no será introducida en el biodigestor, únicamente se usará la excreta fresca. Se irán llenando baldes de estiércol para poder medir la cantidad introducida. Se carga la carretilla con el estiércol, se añade agua y se mezcla hasta que quede lo más homogéneo posible. Cuando esté fluido se echa al digestor, el colocar la compuerta en el tanque mezclador ayuda a retener los residuos sólidos existentes en la mezcla (paja, plásticos, semillas).
- **Inóculo:** Tal como se ha indicado, el inóculo será un 10% del volumen total del biodigestor. Se añadirá en tres partes, una al principio, otra en medio y otra hacia el final. Para introducirlo, se mezclará con el estiércol y el agua en la carretilla.

Los volúmenes para el cargado de un biodigestor de estas dimensiones son:

Componente	Volumen (L)	%
Excreta	675	18
Agua	2700	72
Inóculo	375	10

Se observa como la proporción de excreta y agua es 1:4.

- Instalación de la conducción de salida del biogás. Una vez cargado todo el digestor, es importante hacer la instalación de la conducción del biogás por lo menos hasta la válvula de seguridad. De este modo el gas generado los primeros días irá escapando por la válvula, sin peligro de que se malogre el biodigestor.

Al hacer el cargado, la válvula instalada en la salida debe estar cerrada. Una vez hecho el cargado se debe atar la válvula con una pita a los listones y elevarla un poco sobre el nivel del líquido, para evitar que algún sólido de la mezcla la pudiese obstruir. Antes de iniciar la instalación de los tubos, se limpiará la salida abriendo un momento la válvula e introduciendo agua por la salida del biogás, con un poco de agua bastará. De ahí, se vuelve a cerrar la válvula y sólo se abrirá cuando se haya conectado el biodigestor a la válvula de seguridad (ver apartado de Válvula de seguridad).

- **Reposo hasta la generación de gas combustible.** Una vez cargado el digestor se deberá seguir su evolución. Al cabo de 7-10 días la manga debería hincharse, señal de que se está generando gas en su interior. Ese gas no será combustible, será básicamente CO₂ con un poco de metano. Situando una altura de 2 cm de columna de agua en la válvula de seguridad (ver apartado VÁLVULA DE SEGURIDAD), se logrará purgar ese gas. Ocasionalmente se irá comprobando si el gas es combustible. Para ello se puede llenar una llanta de carro o, si la instalación está ya finalizada, comprobar directamente en el quemador.

Muy importante: No se realizarán cargas diarias hasta que el gas generado en el digestor sea combustible. A partir de ahí se realizarán medias cargas durante una semana y, a partir de ahí, se cargará con normalidad.

- **Cargas diarias.** Una vez el biodigestor esté activo (su gas sea combustible) se realizarán cargas diarias con la mitad de sustrato durante una semana. Esas medias cargas tendrán la siguiente composición:

Componente	Volumen (L)
Excreta	10
Agua (u orín)	40

Una vez haya transcurrido esa primera semana las cargas consistirán en:

Componente	Volumen (L)
Excreta	20
Agua (u orín)	80

Es muy recomendable el uso de los orines de los cerdos en sustitución del agua, lográndose así una reducción muy considerable en el consumo de agua.

Para la realización de estas cargas se pueden medir los volúmenes con los baldes (1 balde = 20 L aprox.) y es necesaria una mezcla previa al cargado, es decir que las excretas se deben disolver al máximo en los orines o el agua con ayuda de alguna herramienta (palo, rastrillo, etc.).

INSTALACIÓN DE LA CONDUCCIÓN DE GAS

Materiales

- Tubería PVC ½” agua (presión)
- Codos y uniones PVC ½” agua (presión)
- Pegamento PVC
- 6 válvulas de bola PVC ½” agua (presión)
- 2 uniones universales ½” agua (presión)
- 3 te ½” agua (presión)

Una vez instalado y cargado el digestor, se hará la instalación de la conducción de gas. Los accesorios que se describen en las siguientes páginas deben montarse según el esquema de la Figura 20.

- **Consideraciones generales de la instalación**

1. Se utilizan tubos de PVC de agua de ½" a presión. Si se quiere mayor resistencia de los tubos, se pueden adquirir tubos roscados (tienen una pared más gruesa pero son más caros), pero aun así las uniones serán a presión (las partes roscadas se cortarán). Por lo tanto, en cualquier caso, todos los accesorios se conectarán a presión.
2. Las uniones se harán con pegamento de PVC. Es importante limpiar el tubo y eliminar las rebabas que hayan quedado al cortarlo. Se aplicará una ligera capa de pegamento para PVC tanto en el tubo como en la parte interna del accesorio. Al introducir el tubo, se dará ¼ de vuelta y se debe mantener una ligera presión durante 15 segundos, para asegurar el pegado.
3. Hay que vigilar la inclinación de los tubos. El biogás contiene vapor de agua, de manera que si hay una "U" en el recorrido del tubo, puede condensarse y obturar la conducción. Así que se debe procurar hacer toda la instalación con pendiente hacia el digestor (no pasa nada si el agua vuelve al digestor) o en caso contrario, se colocan trampas de agua en los puntos más bajos.
4. En caso de detectar alguna fuga en las uniones (burbujas en la espuma), se debe aislar esa parte de la conducción (cerrar la válvula de salida del biodigestor) y reparar. Para sellar se puede usar el propio pegamento de PVC, poniendo abundante cantidad o, mejor aún, sellar con pasta de poliuretano (SikaFlex), que es más cara pero sella mejor. Nunca sellar con silicona, pues no se adhiere al PVC y acaba saltando. Además el biogás también se la acaba comiendo.
5. Un método útil para la detección de fugas es emplear agua jabonosa, ya que en caso de fuga las burbujas indicarán el lugar exacto.

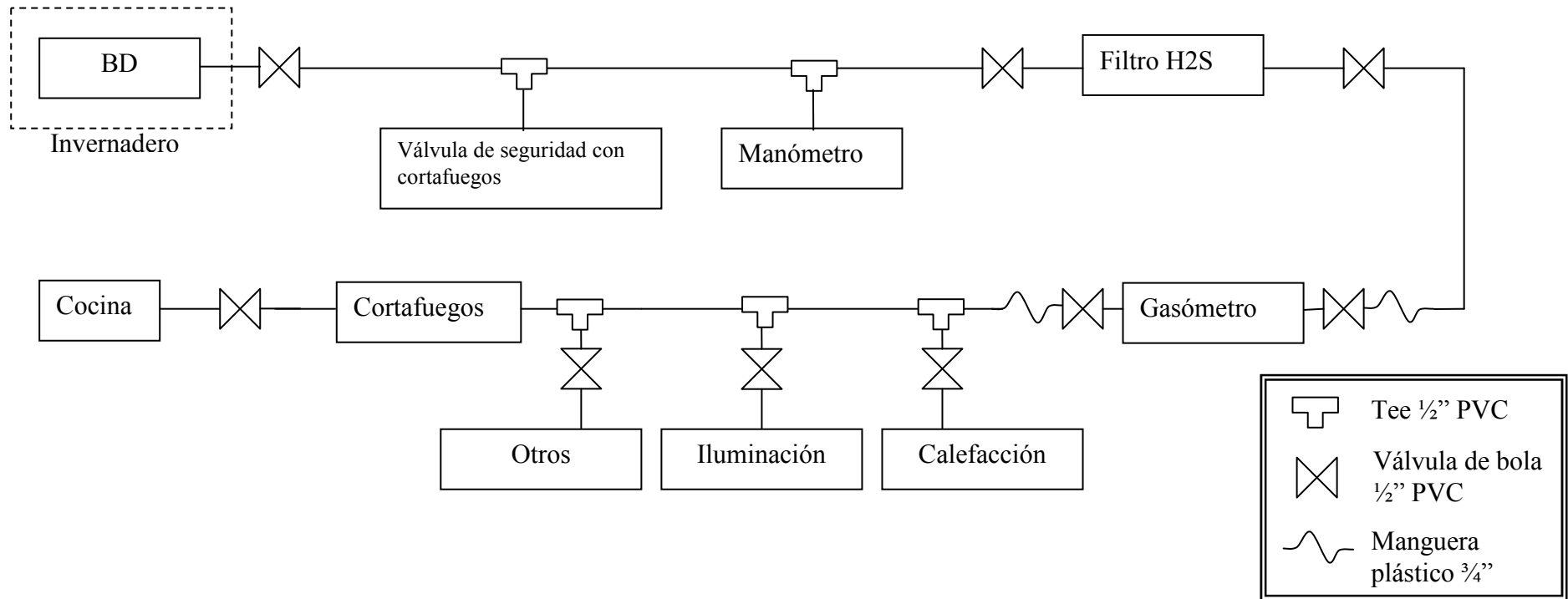


Fig. 20 – Conducción del biogás

VÁLVULA DE SEGURIDAD

Materiales:

- 1 te ½" agua (presión)
- Botella plástico 1,5 – 2 L
- 20 - 30 cm tubo PVC ½" agua (presión)

Es un elemento fundamental del sistema. Para asegurar que la presión de gas dentro del biodigestor no aumente demasiado es importante contar con un mecanismo de escape del gas, aliviando así la presión.

Para construir la válvula de seguridad se necesita una botella de plástico grande (1,5-2L) medio llena de agua. En la conducción se coloca una te y el trozo de tubo que sale hacia abajo se introduce en la botella por la boca hasta introducirlo un poco en el agua. La botella debe tener una abertura por donde verter nueva agua cuando el nivel de ésta haya bajado. También se hacen unos pequeños huecos aproximadamente a la mitad de la botella, para evitar que suba demasiado el nivel del agua (por ejemplo a causa de la lluvia). Ver figura 21 y foto 46.

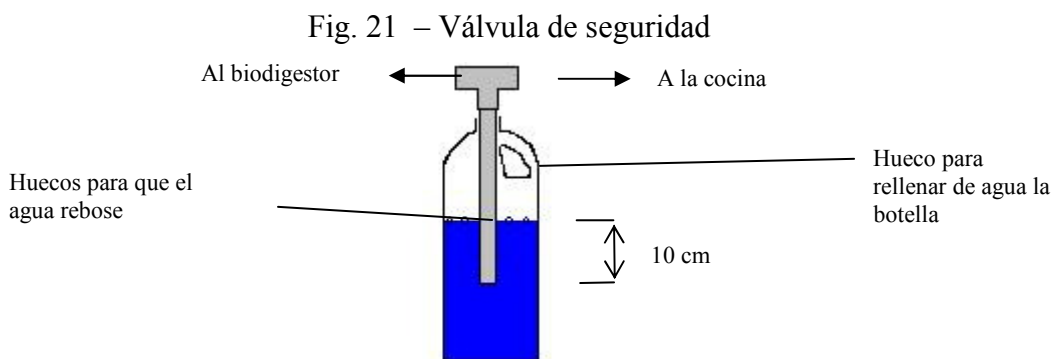


Foto 46 Válvula de seguridad.

Si la presión en el interior del biodigestor aumenta, el gas desplazará el agua del interior del tubo, hasta el punto en que haya desplazado toda la columna y el gas se escape burbujeando. De este modo se evita que el biodigestor pudiese rasgarse por una presión excesiva de gas. Cuanto más sumergido esté el tubo en el agua, mayor presión necesita el gas para escapar. El tubo deberá estar unos 10 cm sumergidos en el agua. Es importante ir controlando esta altura, ya que si el nivel de agua baja, porque se evapora, hasta el punto que el tubo no esté sumergido en el agua, el gas se escapará. Por el contrario, si el nivel sube mucho, por lluvia o humedad, puede que el gas no pueda escapar incluso con una presión excesiva y malogre la manga.

Es muy importante ir comprobando que el agua está en su nivel adecuado, es decir, al nivel de los agujeros de rebose y éstos a 10 cm por encima del extremo del tubo.

CORTAFUEGOS

Materiales:

- 1 te ½” agua (presión)
- Virutilla de acero
- Tapón ½” PVC agua (rosca)
- 10 cm tubo PVC ½” agua (presión)

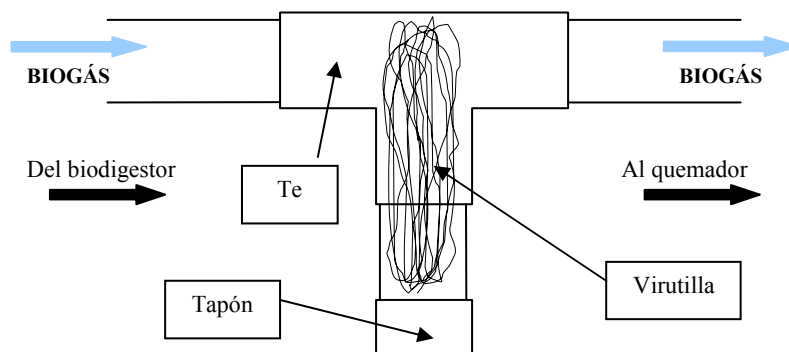
El biogás es un combustible y, como tal, debe manipularse con precaución. Cabe la posibilidad, aunque poco probable, de que la llama del quemador penetre en la conducción y se propague hacia atrás, esto es, hacia el biodigestor. Para evitar que esta llama llegue hasta el biodigestor se coloca el cortafuego. Éste consiste en un trozo de virutilla de fierro o acero colocada en medio del tubo de tal modo que la llama al encontrarse con ella se apaga. Para colocar la virutilla se aprovecha la te de la válvula de seguridad (Foto 47). Por el trozo de tubo que va dentro de la botella se introduce la viruta, asegurando que llegue hasta el final. Esta viruta hay que cambiarla una vez al año.



Foto 47 Virutilla cortafuego

Por seguridad es recomendable colocar otro cortafuego justo antes de la cocina (o de cualquier aplicación en la cual se genere una llama). Para ello se instala una te con la derivación cerrada por un tapón. Al quitar el tapón se puede introducir o sacar la virutilla, que deberá quedar obstruyendo el paso del biogás (Figura 22).

Fig. 22 – Disposición del cortafuego



MANÓMETRO

Materiales:

- Tabla de madera de 50 x 25 cm
- Papel milimetrado
- Cintas de seguridad
- Manguera de plástico de 3/8"
- Adaptador a manguera (rosca)

El manómetro proporciona la presión a la que se encuentra el gas dentro del biodigestor. Para fabricar el manómetro se necesita una madera fina de unos 50 x 25 cm. Se pega papel milimetrado a la madera y se forra con plástico transparente. Con una manguera plástica transparente de 3/8" se hace una "U" y se sujeta a la madera con cintas de seguridad (haciendo agujeritos en la madera). Un extremo de la manguera irá conectada a la conducción mediante un adaptador de manguera y ese a una te. El otro extremo de la manguera estará libre. Una vez instalado, se rellena con agua la manguera más o menos hasta la mitad, por el extremo libre. Una vez se empieza a generar gas, el gas desplazará el agua y la diferencia entre la altura del agua en cada uno de los brazos del manómetro será la presión del biodigestor, medida en centímetros de columna de agua. Es muy importante ir comprobando que el manómetro siempre contenga agua, ya que si por cualquier razón se vaciase, el gas escaparía por la manguera. Ver foto 48.



Foto 48 Manómetro

TRAMPA DE AGUA

Materiales:

- 1 tee 1/2" agua (presión)
- 1 botella de plástico de 33 - 50 cl
- 10 - 15 cm tubo PVC 1/2" agua (presión)

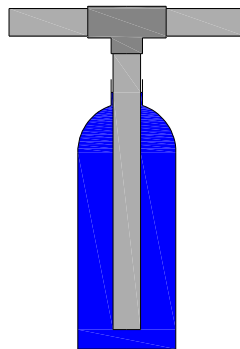
El biogás contiene vapor de agua y éste puede condensar en el interior de las conducciones. En el caso que la conducción hiciese forma de "U", el agua condensada podría acumularse ahí, impidiendo la circulación del biogás hasta la cocina (Fig. 23).

Fig. 23 – Conducción obstruida por condensación de agua



Para evitar que esto suceda se debe instalar la conducción con una ligera pendiente, de modo que no se formen estas “U”. Si no se puede evitar, en cada una de ellas se deberá colocar una trampa de agua. En la figura 24 se ve una trampa de agua fabricada con una botella de agua. Es igual que la válvula de seguridad, sólo que la botella no tiene más huecos que el de arriba, por donde se introduce el tubo, y éste debe estar totalmente introducido en la botella, así como está llena de agua.

Fig. 24 – Trampa de agua con botella de plástico



Es muy importante que el tramo de tubo sumergido en las trampas de agua sea siempre mayor que el tramo de tubo sumergido en la válvula de seguridad, de lo contrario el gas se escaparía por la trampa de agua.

Es muy importante ir revisando periódicamente que la botella se encuentra llena de agua. En caso de vaciarse podría producirse un escape de biogás.

RESERVORIO DE BIOGÁS

Materiales:

- 6 m de plástico polietileno ancho de rollo 1,5 m
- 1 m tubo PVC ½” agua (presión)
- 6 válvulas de bola PVC ½” agua (presión)

- Manguera de plástico $\frac{3}{4}$ "
- 4 abrazaderas $\frac{3}{4}$ "-1"
- Jebe

El reservorio de biogás consiste en una manga de plástico bien cerrada por ambos lados, donde se almacena el gas (Foto 49).



Foto 49 Reservorio de gas

Para su fabricación se usa una manga de plástico de polietileno (las mangas comunes), la más gruesa de que se pueda disponer y de ancho de rollo (AR) 1,5 m. La longitud de la manga irá en función del volumen total que se desee almacenar. En general con una capacidad de almacenamiento de $1,5 \text{ m}^3$ habrá suficiente. Para ello se necesitan 6 m de manga de plástico. Lo primero que hay que hacer es cortarla por la mitad (de modo que se tengan dos mangas de 3 m de largo) e introducir una dentro de la otra para de ese modo tener una manga de 3 m de largo de doble capa, con lo que se reduce la posibilidad de que se malogre la manga. Es importante alisar todas las arrugas y ajustar bien las dos mangas. Entonces se toma un tramo de 0,5 m de tubo de PVC de $\frac{1}{2}$ " y se introduce 30 cm en una de las aberturas de la manga. Se dobla la manga en acordeón y se ata todo con jebe, igual como se hizo al construir el biodigestor (ver Foto 50).



Foto 50 Preparación del reservorio de biogás

Una vez bien ligado el jebe, se pega una válvula de bola en el extremo libre del tubo. Luego nuevamente un pequeño tramo de tubo (15 cm) y ahí se conecta con un tramo de 1 m de manguera de $\frac{3}{4}$ " (Foto 51). El tubo va introducido a presión dentro de la manguera, y todo se ajusta con una abrazadera del tamaño adecuado. El otro extremo de la manguera se conecta al tubo que viene del biodigestor. La función de la manguera es dar flexibilidad a esta unión, ya que el reservorio de gas, al hincharse y deshincharse, subirá y bajará.



Foto 51 Manguera flexible a la entrada del reservorio de biogás

La ubicación del reservorio es un tema importante. No hay una solución única, ya que cada granja tendrá sus particularidades, pero si hay algunas recomendaciones:

Sistema de compresión: Para cocinar habrá que comprimir el reservorio para obtener una presión adecuada para el funcionamiento de la cocina. El sistema más sencillo para ello es poner unas cintas alrededor del reservorio, y jalarlas en el momento que se quiera utilizar el gas. Otro es colocar una tabla pesada encima del reservorio, con algún mecanismo para poder levantarla cuando haya

que llenar el reservorio (poleas), en las siguientes fotos 52 y 53, se observa el reservorio y su sistema de compresión.

- Cerca de la cocina y accesible a las personas: Para poder accionar las válvulas y el sistema de compresión
- Protegido de animales (gallinas, gatos, perros): Para ello se puede recubrir el reservorio con una frazada o una malla.
- No accesible para niños
- Protegido del sol: los rayos del sol provocan que el plástico se malogre más rápidamente.
- Lejos de llamas o fuentes de calor.



Foto 52 y Foto 53 Sistema de compresión del reservorio

En la Foto 54, se observa la construcción de una repisa con paredes y puerta de seguridad construida para almacenar el reservorio, debido a la presencia de animales menores que algunas veces han causado daño al reservorio.



Foto 54 repisa para colocación de reservorio.

El contenido del reservorio es el biogás con el que se va a cocinar, como todo combustible tiene un peligro potencial y hay que manipularlo con atención. Aunque el riesgo en este caso es bajo, porque el biogás está almacenado a baja presión (en ningún caso se puede producir una explosión), una llama malograría el reservorio y provocaría una combustión del biogás almacenado que podría ser peligrosa.

Al utilizar el biogás se puede hacer de dos maneras:

- **Sin comprimir el reservorio.** Si el reservorio está bien lleno y tiene suficiente presión, simplemente abriendo la llave correspondiente al accesorio que se quiera usar y prendiendo la llama.
- **Comprimiendo el reservorio.** Cuando el reservorio no tiene suficiente presión (la llama es débil) se deberá comprimir con alguno de los sistemas anteriormente explicados. Pero antes de hacerlo se debe cerrar la llave del reservorio que va hacia el biodigestor, de lo contrario al comprimirlo el biogás iría hacia atrás de vuelta al biodigestor y se perdería por la válvula de seguridad.

FILTRO DE VIRUTAS DE FIERRO

Materiales:

- 1 m tubo PVC 6" agua (presión)
- 2 reducciones 6"-4"
- 2 reducciones 4"-2"

- 2 reducciones 2”-1/2”
- 2 uniones universales PVC 1/2” agua (presión)
- 2 válvulas de bola PVC 1/2” agua (presión)
- Virutas de hierro oxidadas
- Pegamento para PVC
- Pasta formadora de empaquetadura

El biogás contiene un pequeño porcentaje de sulfuro de hidrógeno (H₂S), que además de ser altamente tóxico puede corroer las partes metálicas de los equipos con los que entre en contacto el biogás (cocinas, quemadores, calentadores y otros). El plástico es resistente a este producto, así como también lo es el bronce o el acero inoxidable. Pero cualquier pieza de hierro será corroída poco a poco por este ácido. Para eliminarlo se coloca un filtro, consistente en un tramo de tubo de 6” y 1 m de longitud lleno de virutas de hierro oxidadas. A ambos extremos del tubo se colocan tres reducciones, primero una de 6” a 4”, luego otra de 4” a 2” y por último una de 2” a 1/2”. Justo ahí se coloca una unión universal, que permitirá desmontar el filtro para cambiar las virutas y de ahí ya se conecta a la conducción. En un extremo las reducciones irán pegadas con pegamento de PVC pero en el otro se coloca pasta de empaquetadura que sella pero no pega, de modo que se podrán retirar las virutas usadas y sustituirlas. Esta sustitución habrá que realizarla cada 2 meses. Ver figura 25 y foto 55.

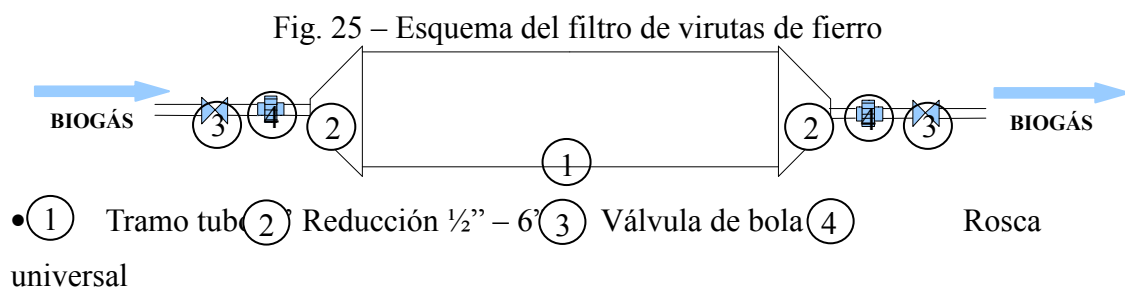




Foto 55 Vista de filtro colocado en el sistema de conducción

Para oxidar las virutas simplemente se deben remojar y luego dejar a la intemperie. Con 3 o 4 días las virutas estarán suficientemente oxidadas. Al recoger las virutas, siempre es mejor que sean pequeñas y cortas, porque si son muy largas y estrechas, cabrá una menor cantidad en el filtro y no eliminará tanto ácido. Las virutas son muy fáciles de obtener en cualquier taller que trabaje con hierro y tenga un torno. Habitualmente se pueden recoger de manera gratuita.

COCINAS Y QUEMADORES

Cualquier equipo diseñado para funcionar con GLP puede funcionar también con biogás. Incluso los equipos a kerosene también. Simplemente se debe hacer una sencilla modificación, que consiste en aumentar el tamaño del orificio del niple que inyecta el gas al quemador (Foto 56).



Foto 56 Vista del niple de una cocina de GLP

La función de ese niple es mezclar el GLP con el aire para formar la mezcla que se quemará en la hornilla. Como el biogás necesita menos aire, el hueco de ese niple debe ser mayor. Para el correcto funcionamiento con biogás del equipo el hueco del niple debe tener un diámetro de 2,5 mm (Foto 57 a y b) y sistema de conexión a la cocina en la foto 58.



(a)

(b)

Foto 57 (a) Niple original – (b) Niple modificado para uso con biogás



Foto 58 Detalle de la cocina conectada al sistema de conducción

COSTOS

Los costos que se muestran están en nuevos soles, los precios de los materiales han sido tomados en octubre del 2009, siendo el cambio de 1 euro = 4 nuevos soles.

a) Manga

Concepto	Cantidad	Precio Unitario S/.	Costo Total S/.
Manga de geomembrana (8 metros x 1.5 metros)	1	529.30	529.30
Discos de pvc	2	3.00	6.00
Discos de cámara de llanta	2	3.00	6.00
Nipple especial de ½"	1	3.50	3.50
Llave de bola de ½"	1	2.50	2.50
Tubería de pvc de 6"	1	87.00	87.00
Bandas de cámara de llanta	4	12.00	48.00
Abrazaderas de 1 ½"	4	1.00	4.00
codo ½"	1	0.30	0.30
Manguera flexible de ¾"	4 metros	2.00	8.00
Costo Total de la manga			S/. 694.60

b) Sistema de conducción

Concepto	Cantidad	Precio Unitario S/.	Costo Total S/.
Tubería de pvc ½" (5 metros c/u)	14	6.80	95.20
Unión de pvc de ½"	20	0.30	6.00
Codo de pvc de ½"	8	0.30	2.4
Llave de bola de ½"	4	2.50	10.00

- Válvula de seguridad

Concepto	Cantidad	Precio Unitario S/.	Costo Total S/.
Te de pvc de ½"	1	0.20	0.20

- Filtro

Concepto	Cantidad	Precio Unitario S/.	Costo Total S/.
Tubo de pvc de 4" (1 metro).	1	6.00	6.00
Y de pvc de 4"	1	4.00	4.00
Unión de pvc de 4"	1	4.50	4.50
Tapa de pvc de 4"	1	4.00	4.00
Esponjillas de acero (bolsa de 9).	4	1.00	4.00
Reducción de 4" a 2"	2	7.00	14.00
Reducción de 2" a 1"	2	0.50	1.00
Reducción de 1" a ½"	2	0.60	1.20

- Atrapallamas

Concepto	Cantidad	Precio Unitario S/.	Costo Total S/.
Tapa de pvc de ½"	2	0.30	0.60
Te de pvc de ½"	2	0.20	0.40
Hilos de acero	1	2.50	2.50

- Trampa de agua*

Concepto	Cantidad	Precio Unitario S/.	Costo Total S/.
Codo de pvc de ½"	4	0.30	1.20
Te de pvc de ½"	2	0.20	0.80

* Número variable, dependiendo de los puntos de depresión del sistema de conducción.

Costo total del sistema de conducción	S/. 155.30
--	------------

c) gasómetro

Concepto	Cantidad	Precio Unitario S/.	Costo Total S/.
Manga de polietileno (1.5 metros de ancho de rollo).	6 metros	2.50	15.00
Banda de cámara de llanta	2	12.00	28.00
Manguera flexible de ¾"	4 metros	2.00	8.00
Abrazaderas de 1 ½"	4	1.00	4.00

Costo total del gasómetro	S/. 55.00
----------------------------------	-----------

d) Cama del biodigestor

Concepto	Cantidad	Precio Unitario S/.	Costo Total S/.
Parihuela	12	18.00	216.00
Clavo de 2" (kg.)	1	3.30	3.30
Clavo de 1" (Kg.)	1	4.00	4.00
Manga de polietileno (1.5 metros de ancho de rollo).	8 metros	2.50	20.00
Plancha de 1.20 x 1.30 metros	01	18.00	18.00
Listones de 0.40 metros	20	0.60	12.00
Atados de paja	02	8.00	16.00
Listones de 1.15 metros	12	3.20	38.40
Listones de 0.70 metros	12	1.00	12.00

Costo total de la cama del biodigestor	S/. 339.70
---	------------

e) Tanque mezclador

Concepto	Cantidad	Precio Unitario S/.	Costo Total S/.
Saco de cemento	4 sacos	16.50	66.00
Arena fina	2 sacos	2.50	5.00
Arena gruesa	2 sacos	2.50	5.00
Piedra chancada	1/2 m ³	20.00	20.00
Sika	5 bolsas	5.00	25.00
Compuertas y líneas	2 juegos	35.50	71.00

Costo total del tanque mezclador	S/. 192.00
---	------------

f) Tanque recolector de biol

Concepto	Cantidad	Precio Unitario S/.	Costo Total S/.
Saco de cemento	4 sacos	16.50	66.00
Arena fina	2 sacos	2.50	5.00
Arena gruesa	2 sacos	2.50	5.00
Sika	5 bolsas	5.00	25.00
Piedra chancada	1/2 m ³	20.00	20.00

Costo total del tanque recolector de biol	S/. 121.00
--	------------

g) Invernadero

Concepto	Cantidad	Precio Unitario S/.	Costo Total S/.
Listones de 0.80 metros	7	1.00	7.00
Listones de 1.20 metros	7	3.50	24.50
Listones de 1.33 metros	7	4.50	31.50
Listones de 2.00 metros	8	7.00	56.00
Clavo de 2" (kg.)	1	3.30	3.30
Plancha de malla arpillera (4 metros de ancho).	9 metros	5.00	45.00
Brea	2 galones	28.30	56.60
Banda de cámara de llanta	1	12.00	12.00
Costo total del invernadero			S/. 235.90

h) Mano de obra

Concepto	Cantidad	Precio Unitario S/.	Costo Total S/.
Mano de obra encofrado del tanque mezclador	1	100.00	100.00
Mano de obra encofrado del tanque recolector de biol	1	100.00	100.00
Mano de obra del cavado de la zanja del tanque mezclador	1	40.00	40.00
Mano de obra del cavado de la zanja del tanque recolector de biol	1	60.00	60.00
Mano de obra del cavado de la zanja de la cama del biodigestor	1	490.00	490.00

Costo total de la mano de obra	S/. 790.00
---------------------------------------	-------------------

i) Cocina

Concepto	Cantidad	Precio Unitario S/.	Costo Total S/.
Conector de ½” a ¼” de bronce	1	3.00	3.00
Unión de ½” de rosca a sin rosca	1	1.00	1.00
Manguera de 3/8”	1 metro	1.20	1.20
Abrazadera de 3/8”	2	0.80	1.60

Costo total de la cocina	S/. 6.80
---------------------------------	-----------------

i) Costo total

Costo total de la manga	S/. 694.60
Costo total del sistema de conducción	S/. 155.30
Costo total del gasómetro	S/. 55.00
Costo total de la cama del biodigestor	S/. 339.70
Costo total del tanque mezclador	S/. 192.00
Costo total del tanque recolector de biol	S/. 121.00
Costo total del invernadero	S/. 235.90
Costo total de la mano de obra	S/. 790.00
Costo total de la cocina	S/. 6.80
Costo total del biodigestor	S/. 2 590.30

5. HUMEDALES ARTIFICIALES

Un grave problema de diversos países en vías de desarrollo es el tratamiento de las aguas residuales domésticas, un alto porcentaje de la población, mayoritariamente en las zonas donde residen los más pobres no cuentan con sistemas de colección y tratamiento de las aguas residuales, éste es el caso del Parque Porcino de Ventanilla, donde las 2200 familias existentes, eliminan sus aguas residuales domesticas y los orines de los cerdos en el suelo de sus propias granjas donde discurren libremente, generando grandes impactos negativos en la salud de las familias y en el medioambiente.

5.1 Marco teórico

Los humedales artificiales son un sistema natural de tratamiento de aguas residuales que pueden fluir superficialmente o de forma subterránea durante el tiempo suficiente para que el ecosistema elimine los nutrientes que las contaminan.

La vegetación proporciona superficies para la formación de películas bacterianas, facilita la filtración y la adsorción de los constituyentes del agua residual, permite la transferencia de oxígeno a la columna de agua y controla el crecimiento de algas al limitar la penetración de luz solar.

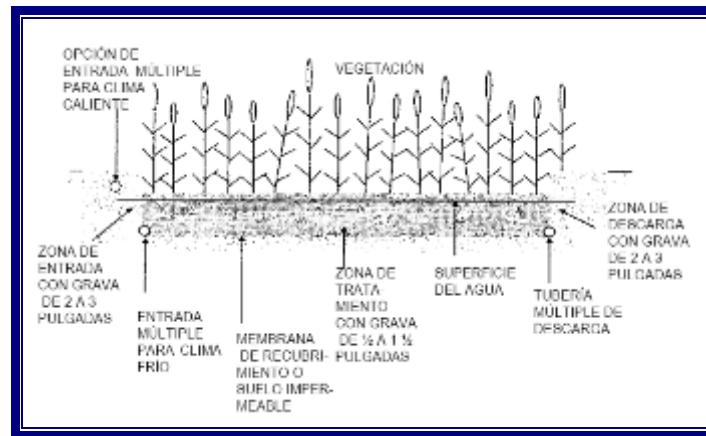
Los humedales tienen tres funciones básicas que los hacen atractivos para el tratamiento de aguas residuales:

- Fijar físicamente los contaminantes insolubles.
- Utilizar y transformar los elementos contaminantes por intermedio de los microorganismos y de la biomasa vegetal.
- Lograr niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y bajo mantenimiento.

Existen dos tipos de sistemas de humedales artificiales desarrollados para el tratamiento de agua residual: sistemas a flujo libre (FL) y sistemas de flujo subsuperficial (FS). Siendo esta segunda la alternativa elegida para desarrollar la

experiencia en el Parque Porcino de Ventanilla. En la Figura 26, se muestra el esquema de un humedal horizontal de flujo subsuperficial.

Fig. 26 Humedal horizontal de flujo subsuperficial.



Los modelos de diseño de humedales FS están disponibles en publicaciones desde finales de la década de 1980. Trabajos más recientes, realizados entre mediados y finales de la década de 1990 han sido compilados en tres libros de texto que presentan modelos de diseño de humedales FS (Reed en 1995, Kadlec & Knight en 1996 y Crites & Tchobanoglous en 1998).

Todos los sistemas de humedales construidos pueden ser considerados como reactores biológicos y su rendimiento puede ser descrito aproximadamente por la cinética de primer orden de un reactor de flujo pistón, pero los resultados no siempre concuerdan debido a las selecciones en el desarrollo de cada autor, además no utilizan la misma base de datos para la derivación de sus modelos.

El tamaño de los humedales artificiales FS es determinado por el contaminante que requiere la mayor área para su remoción y que la distribución del flujo de agua residual sea uniforme, la misma que se logrará mediante un gradiente de fondo cuidadosamente seleccionado y el uso apropiado de estructuras de entrada y descarga.

Los sistemas de humedales son ecosistemas vivos en los cuales los ciclos de vida y muerte de la biota producen residuos que pueden ser medidos en función de la

demanda biológica de oxígeno - DBO, sólidos en suspensión totales - SST, nitrógeno, fósforo y coliformes.

5.2 Parámetros de diseño del humedal

En la construcción de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal para el tratamiento de aguas grises se deberá considerar la caracterización de las aguas a tratar, la disponibilidad del terreno para la ubicación de las instalaciones y la cantidad de agua residual. A partir de estos estudios se puede decidir sobre la validez de la opción del humedal artificial.

Cabe señalar que en el Parque Porcino de Ventanilla se construyeron inicialmente 3 humedales, 2 de ellos sólo para tratamiento del biol que es el producto líquido que sale del biodigestor, sin embargo, se colmataron rápidamente y dejaron de funcionar, el tercero se probó sólo con aguas grises producto del lavado de ropa, de útiles de cocina y de la ducha, obteniendo mejores resultados, por ello, luego en las siguientes familias se desarrollaron humedales para aguas grises, para ello se realizaron algunas modificaciones, se ha optado por la construcción de 2 humedales en paralelo, con la finalidad de tener un mejor mantenimiento. Es decir, cuando se realiza el mantenimiento de uno de ellos el otro puede seguir funcionando y por lo tanto se garantiza un funcionamiento continuo.

Los parámetros a considerar en el diseño son los siguientes:

5.2.1 Gradiente hidráulico

El agua se mueve a través del humedal por la diferencia de cotas entre la entrada y la salida, movimiento que se verá impedido por la pérdida de carga debida a la resistencia de los tallos, las raíces o la grava. Este gradiente tiene que ser suficiente como para impedir que el agua se acumule a la entrada del proceso. El gradiente puede regularse mediante la pendiente y el ancho del humedal.

5.2.2 Profundidad

Para humedales FS el criterio es la profundidad máxima de enraizamiento, que está entre los 0,2 y los 0,8 m, adoptándose para el presente trabajo una profundidad de 0,35 m.

5.2.3 Porosidad

La proporción del sistema que realmente está ocupada por el agua varía según el tipo de humedal. La porosidad fluctúa entre 0,3 y 0,4 para gravas finas. La porosidad está directamente relacionada con la conductividad hidráulica, que está entre 250 y 3500 m/día para gravas finas. La porosidad suele disminuir con la acumulación de la materia orgánica en los poros de la grava, pero además el crecimiento de las partes subterráneas de los macrófitos disminuye la fracción de espacio libre entre los 30-40 cm más superficiales (donde se concentra el crecimiento de raíces y rizomas). Todo ello favorece la colmatación y la pérdida de conductividad hidráulica. Para la piedra chancada de $\frac{1}{2}$ " , la porosidad será de 0,39.

5.2.4 Pendiente

La pendiente del lecho del humedal es un factor importante a tener en cuenta ya que favorece el flujo hidráulico. En humedales FS se consideran pendientes entre 0,1% a 1%. Sin embargo deben de trabajar con pendientes más altas ya que presentan mayores resistencias hidráulicas. El uso de la pendiente en las ecuaciones de diseño de tipo hidráulico debe ser cuidadoso ya que pequeñas variaciones dan lugar a resultados muy diferentes de caudal aceptable. Para este diseño se considera un 2% de pendiente para todos los casos.

5.2.5 Tiempo de retención

Se define como la relación entre el volumen efectivo de agua y el caudal de entrada. Sin embargo este tiempo de retención teórico no tiene por qué coincidir con el real, lo habitual es que los tiempos medidos sean inferiores al teórico debido a la existencia de flujos preferenciales. En los humedales suelen aparecer

flujos preferenciales que suelen ser más abundantes en los humedales FS que en los humedales FL. Por otro lado la presencia de raíces retarda el movimiento del agua en esa zona, lo que favorece un flujo más profundo del agua e irregularidades de flujo dentro del humedal. El tiempo de medio de retención hidráulico es:

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{\alpha \times A_s \times h}{Q} \quad (1)$$

Donde:

- V: volumen del humedal, en m³.
- Q: caudal medio, en m³/d.
- α : porosidad, en tanto por uno.
- A_s: superficie del humedal, en m².
- H: profundidad media del humedal, en m.

5.2.6 Geometría del humedal

En los humedales de FS la gran pérdida de carga hidráulica que se produce al principio de los mismos así como la menor conductividad hidráulica del medio, obliga a relaciones longitud/anchura diferentes y en un intervalo entre 0,4/1 a 3/1 (EPA 1993). No obstante, relaciones menores de 1/1 no son recomendables para evitar grandes ineficiencias hidráulicas debidas a flujos preferenciales. Para este diseño se ha considerado una relación largo/ancho de 3/1.

Un aspecto importante es la comprobación de que para una relación largo/ancho dada, no existirán sobrecargas hidráulicas en la entrada del sistema, si la superficie perpendicular al flujo es demasiado estrecha.

Hay que tener en cuenta que se considerarán 2 humedales paralelos, con la finalidad de realizar un adecuado mantenimiento a los humedales. Para lo cual el dimensionamiento se hará con la mitad del caudal, por otro lado éste varía con respecto a cada familia, para el caso de las 5 familias que participaron en la segunda fase del proyecto, se obtuvieron los caudales siguientes:

RESPONSABLE DE FAMILIA	CAUDAL (m3/día)
Lorenza Lobo Caamaño	0.22
Reynaldo Cuadros Cuenca	0.22
Matilde Corimayhua Luque	0.22
Crispín Alhuay Rojas	0.22
Marcos Inga Paipay	0.22

Para la obtención de las ecuaciones de diseño se supone que los humedales se comportan como reactores de flujo ideal en pistón en los cuales los contaminantes se degradan siguiendo modelos cinéticos de primer orden. Por tanto, el balance de masa para un contaminante es simplemente:

$$\frac{dC}{dt} = -k_T \times C \quad (2)$$

Donde:

C : concentración del contaminante, por ejemplo en mg/L.

Kv: constante de cinética de primer orden, en días⁻¹. El signo negativo en la expresión indica que la concentración de contaminante disminuye a lo largo del tiempo.

Integrando la ecuación (2) entre la concentración inicial de contaminante o afluente (C0 para t=0) y la final o efluente (C1 para t=t, siendo este último el tiempo medio de retención hidráulico, en días) se obtiene:

$$\frac{C_1}{C_0} = \exp(-k_T \times t) \quad (3)$$

Combinando las ecuaciones (1) y (2):

$$\frac{C_1}{C_0} = \exp\left(\frac{-k_T \times \varepsilon \times A_s \times h}{Q}\right) \quad (4)$$

Se utiliza la ecuación de Arrhenius para encontrar la constante de reacción con la temperatura a la que se lleva a cabo esa reacción, de acuerdo con la expresión:

$$k_T = k_{20} \times 1.06^{(T_w - 20)} \quad (5)$$

Donde:

K_T : Constante de reacción a una temperatura T

K_{20} : Constante de reacción a una temperatura de referencia

T_w : Temperatura del agua considerada para el dimensionado

La temperatura mínima en el agua del Parque Porcino es de 14 °C (Fuente SENAMHI).

Entonces el área superficial será:

$$As = L \times w = \frac{Q \times \ln\left(\frac{C_0}{C_1}\right)}{k_T \times h \times \epsilon} \quad (6)$$

Las características típicas de los medios disponibles son:

MEDIO	TAMAÑO DE GRANO MAX. (10%)	POROSIDAD ϵ	CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA Ks m3/m2xdia	K_{20}
Arena Gruesa	1	0.42	420	1.84
Grava de 1/2"	2	0.39	480	1.35
Grava de 1"	8	0.35	500	0.86

5.3 Actividades previas y componentes del humedal

5.3.1 Selección de la ubicación

La selección de la ubicación de un sistema de humedales se realiza en función de las variables que fundamentalmente afectan a su proceso constructivo y a los costos que éste conlleva, destacándose la accesibilidad, el costo y la calidad del terreno, la climatología y geología de la zona, entre otros.

Los humedales se deben situar en zonas llanas o con muy poca pendiente y que permitan a ser posible la circulación del agua por gravedad en todos los elementos de la depuradora. Las llanuras próximas a los ríos aún cuando

cumplen esta condición no son siempre adecuadas ya que pueden necesitar de diques de protección contra las inundaciones.

Por otra parte, los sistemas deben situarse alejados de zonas con bastante pendiente o taludes susceptibles de ser erosionados, puesto que si los materiales son arrastrados y entran en los humedales pueden acelerar el proceso de colmatación. En cualquier caso se deberá evaluar las medidas necesarias para evitar la entrada de finos en los humedales.

5.3.2 Configuración

Como se ha indicado anteriormente, una vez determinadas las dimensiones del sistema se divide la superficie en un número adecuado de celdas en paralelo. Aunque las dimensiones del sistema no hagan que sea preciso dividirlo en celdas, se recomienda tener como mínimo 2 celdas para asegurar una mejor distribución uniforme del agua residual en todo el lecho, así como para dar flexibilidad al sistema durante su explotación. Esta configuración permite que el sistema siga operativo durante las operaciones de mantenimiento o de reparación de averías. Sólo en sistemas muy pequeños como saneamientos autónomos (donde se puede controlar bien la producción de agua residual) es admisible construir sistemas con una única celda.

5.3.3 Sistema de distribución y recogida

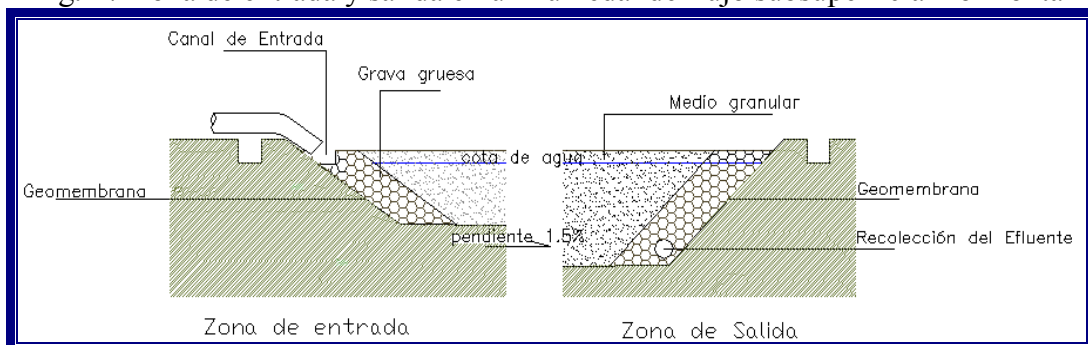
El objetivo de los sistemas de distribución y recogida es fundamentalmente garantizar una buena distribución y recogida del agua, respectivamente. Si el caudal no se reparte equitativamente en todo el ancho del sistema se generarán zonas muertas, circuitos preferentes y, lo que es más grave, mayor riesgo de colmatación en la zona donde se vierta mayoritariamente el agua.

El caudal de agua procedente del tratamiento previo deberá dividirse equitativamente en correspondencia con el número de celdas que tenga el sistema.

Las tuberías de un sistema de humedales lógicamente deben tener un diámetro que permita transportar el caudal necesario en cada caso. Como norma general las tuberías deben funcionar como máximo con una altura de lámina de agua igual a un 70-75% del diámetro de la tubería, para intentar lograr que el flujo sea en lámina libre. Los diámetros utilizados por tanto varían en función del caudal, siendo recomendable que la velocidad de circulación no sea mucho menor de 1 m/s. Aunque depende del tamaño de cada instalación, en general se intentará utilizar diámetros de como mínimo 100 mm (para evitar obstrucciones). Sólo en instalaciones muy pequeñas (saneamiento autónomo) puede ser aconsejable usar diámetros menores.

El agua llega a cada una de las celdas en que está constituido el sistema de humedales a través de lo que se conoce como zona de entrada. Después de circular por el humedal, el agua se evacúa por lo que se denomina zona de salida. En la Figura 27 se muestra un esquema de las zonas de entrada y salida. La zona de entrada está constituida por dos elementos: un sistema de vertido y una franja de material granular de gran tamaño (>100 mm de diámetro) situada ya propiamente dentro de la celda. Estos elementos tienen como objetivo que el agua se reparta uniformemente en la cabecera de cada celda.

Fig. 27 Zona de entrada y salida en un humedal de flujo subsuperficial horizontal



En muchos sistemas de humedales la repartición del agua afluyente se realiza convencionalmente con tuberías perforadas asentadas sobre el medio granular.

La franja de material granular de gran tamaño (compuesta de rocas de más de 100 mm de diámetro) de la zona de entrada está nivelada con el resto del medio granular y se caracteriza por tener una elevada conductividad hidráulica. Esta

franja debe construirse a lo largo de los primeros metros del humedal y no se siembra con plantas; de hecho debe mantenerse libre de vegetación para evitar posibles colmataciones.

La zona de salida está constituida también por dos elementos: un sistema de recogida y una franja de material granular de gran tamaño situada en el tramo final de la celda. Esta franja tiene las mismas características que la franja que hay en la zona de entrada.

El sistema de recogida consta de una tubería de drenaje y una arqueta de salida. La tubería de drenaje está perforada para permitir el paso del agua pero no del árido de gran tamaño. Se puede obtener una tubería de drenaje taladrando una tubería convencional (agujeros por ejemplo de 10 mm). En cualquier caso la tubería de drenaje se coloca sobre el fondo de la celda y se conecta a un tubo que atraviesa el talud hasta llegar a una arqueta donde la conducción termina en forma de “L” invertida; la altura a la que se coloque el extremo superior de esta conducción permite controlar el nivel de agua dentro de la celda.

El final de la conducción de drenaje consiste normalmente en tubos flexibles cuya altura se puede regular por medio de cadenas o hilos que van cogidos a la pared de la arqueta. Alternativamente puede ser un tubo rígido conformado por anillos que se pueden enroscar y desenroscar según el nivel de agua deseado. Nótese que esta conducción debe permitir el vaciado total de la celda si en algún momento es necesario. Además esta conducción debe ser de buena calidad o por el contrario en poco tiempo acaba rompiéndose en la zona curva de la “L” invertida.

5.3.4 Medio granular

El medio granular propiamente del humedal está delimitado por las zonas de entrada y salida. Éste debe estar limpio (exento de finos) y ser homogéneo, duro, durable y capaz de mantener su forma a largo plazo. Además, debe permitir un buen desarrollo de las plantas y de la biopelícula (biofilm). Los materiales

graníticos con diámetros medios de alrededor de 5-6 mm ofrecen muy buenos resultados.

En los sistemas horizontales, clásicamente el medio granular se ha proyectado con un espesor de 0,6 m, de manera que si el agua queda 5 cm por debajo del nivel del medio, resulta que la profundidad del agua es de 0,55 m. No obstante, investigaciones recientes indican que humedales con profundidades medias de agua de 0,3 m y espesores de medio granular de 0,35 m ofrecen muy buenos resultados. Además en este caso se pueden alcanzar reducciones del 60% de nitrógeno. El medio granular escogido en este diseño es grava de ½” cuya profundidad media de agua es 0,35 m y el espesor medio granular de 0,40 m.

5.3.5 Impermeabilización

La impermeabilización de la celda tiene como objetivo asegurar la contención de las aguas en el interior de las celdas evitando así infiltraciones que puedan contaminar las aguas subterráneas. La impermeabilización se realiza en los taludes de la zona de entrada, de salida de los laterales y del fondo de la celda.

Dependiendo de las condiciones locales puede ser suficiente una adecuada compactación del terreno. En otros casos será necesario realizar aportaciones de arcilla o utilizar geomembranas. Aunque es menos habitual también se pueden usar capas de bentonita, asfalto o tratamientos químicos que eviten infiltraciones al terreno pero que, a su vez no produzcan efectos negativos en ningún elemento de los humedales.

Las capas de arcilla se disponen de forma que se alcance una permeabilidad inferior a 10^{-6} cm/s. En la mayoría de sistemas de humedales se han instalado láminas sintéticas de caucho EPDM (Etileno Propileno Dieno tipo M ASTM), de PVC o de polietileno de alta densidad. En el mercado se pueden encontrar láminas con espesores que suelen oscilar entre 0,5 mm y 2 mm. El método más utilizado para anclar las geomembranas se basa en utilizar una zanja periférica, que consiste en una excavación a un metro de la cresta del talud, con unas

dimensiones mínimas de 0,3 × 0,3 m en la cual se fija la lámina mediante el relleno de la propia zanja.

Para la impermeabilización del humedal en el presente estudio se utilizarán: una lámina flexible de 0.05 mm de espesor, fabricada con resina de cloruro de polivinilo (PVC) 100% llamada geomembrana de PVC, ésta a su vez permite adaptarse con facilidad a la forma del terreno. Y para proteger a la geomembrana de PVC del punzonado del estrato del humedal se utilizará fibras largas de tela termofundidas denominada geotextil no tejido.

5.3.6 **Plantación**

En general se obtienen buenos resultados con plantaciones mono específicas de carrizo (*Phragmites australis*), espadaña (*Typha latifolia* o *T. angustifolia*), juncos (*Scirpus lacustris*) o totora (*Scirpus californicus*). No es necesario utilizar especies diferentes en una misma instalación ya que la eficiencia del sistema no se ve muy afectada.

La plantación puede realizarse de plántulas que han sido previamente cultivadas en vivero o bien de rizomas que se obtienen de otros sistemas de humedales construidos o de humedales naturales (en estos dos últimos casos será necesario disponer de los permisos adecuados).

Es muy común cuando se plantea un proyecto de humedales que los promotores muestren una cierta desconfianza sobre el éxito del crecimiento de los vegetales plantados. No obstante, estas plantas si tienen agua, luz y nutrientes crecen muy rápido y dan muy buenos resultados. Hay que vigilar la luz ya que suelen ser plantas que necesitan un buen grado de insolación.

En particular para este proyecto se inocularon totoras, provenientes del humedal artificial que se encuentra en la Universidad Nacional de Ingeniería que está tratando efluentes domésticos, en el proceso de seguimiento se tuvo que sembrar con plántulas sacadas de los humedales de Ventanilla, gracias al permiso otorgado por la Municipalidad distrital de Ventanilla.

5.3.7 Dimensiones de los humedales

La zona de entrada y salida del humedal estará compuesta con canto rodado con una distancia de 0,40 m a cada extremo. El borde libre para todos los humedales será de 0,30 m

Se asume que la DBO del efluente del humedal disminuirá hasta 15 mg/l, con la finalidad de cumplir con la ley general de aguas del Perú, ya que a este valor el efluente puede servir para agua de riego de vegetales.

Según los datos del cuadro anterior, que el medio será arena gruesa y considerando que se construirán 2 humedales en paralelo para cada familia las dimensiones son las siguientes:

Área superficial:

$$A_s = 1,20 \text{ m}^2$$

Largo = 2,55 m (sin considerar la distancia para la zona de entrada y salida)

Ancho = 0,85 m

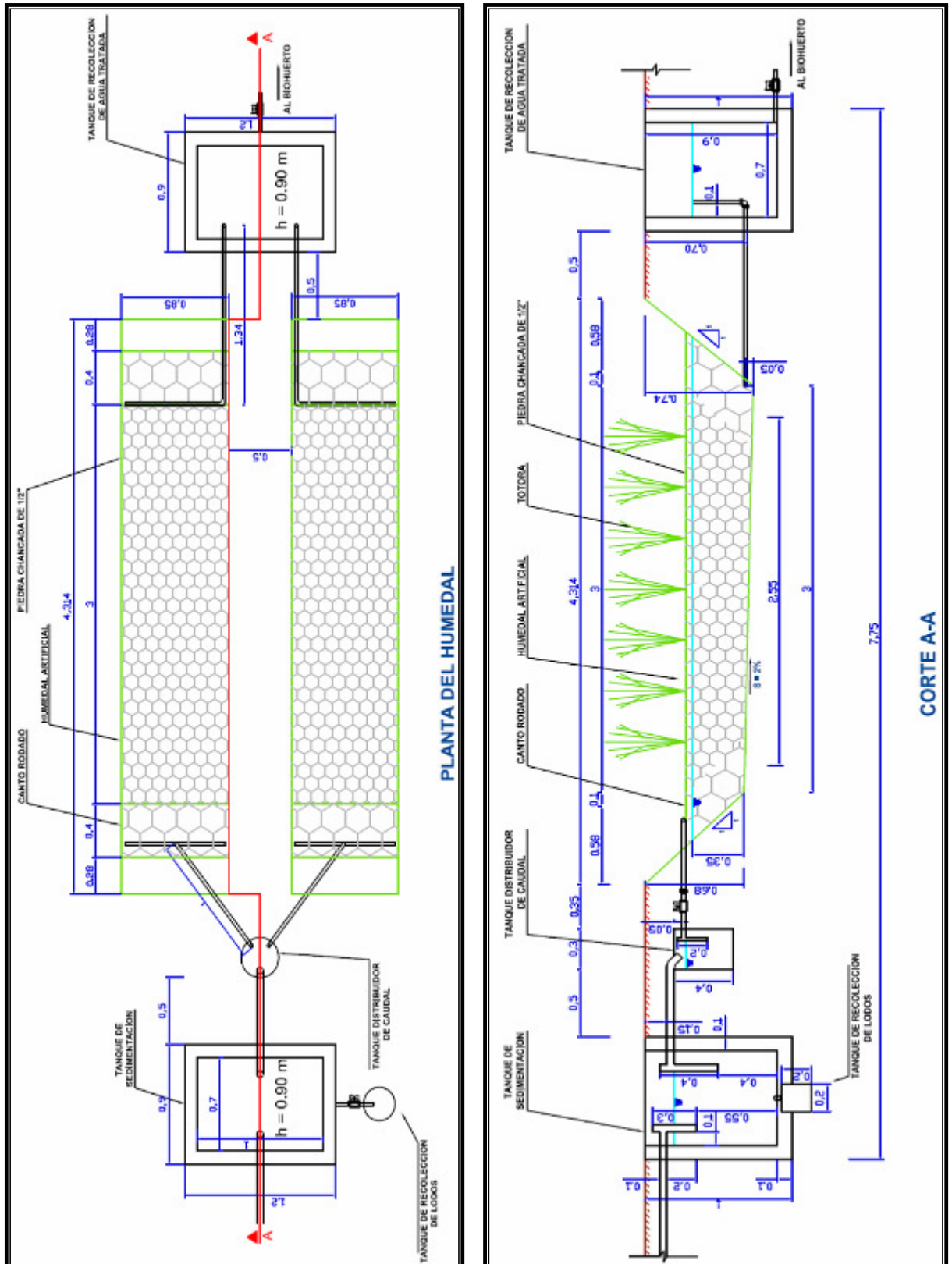
Profundidad = 0,5 m

Por otro lado, debido a que los humedales artificiales representan un tratamiento secundario o terciario y considerando que sólo se van a tratar aguas grises con un caudal de 220 litros por día, es necesaria la construcción de un tanque de sedimentación como tratamiento primario. Y para una repartición equitativa de la salida de este tanque hacia los humedales artificiales se tiene un tanque de repartición de caudal, el cual será un balde de 20 litros al cual ingresará una tubería de 2" y saldrán 2 tuberías de 1" para abastecer a los humedales. Así mismo el tanque de sedimentación cuenta en el fondo con una tubería de 1" que abastecerá al tanque de recolección de lodos.

Además, se está considerando a la salida de los humedales artificiales, un tanque de recolección de agua tratada, el cual servirá como abastecimiento para un biohuerto.

En la figura 28, se muestran los planos elaborados para la construcción de los humedales en esta segunda fase del proyecto.

Fig. 28, Planos de planta y corte de los humedales artificiales.



5.4 Construcción del humedal

La construcción de los sistemas de humedales artificiales consiste en el movimiento de tierras, excavación, relleno y construcción. Sin embargo, hay aspectos que requieren especial atención para garantizar que el flujo a través de los humedales sea uniforme.

La fase de construcción incluye la adecuación de caminos de acceso, limpieza, instalación de tuberías y válvulas, plantación y siembra.

Los humedales artificiales dependen de los sistemas hidráulicos de alta permeabilidad en el sustrato. El rendimiento hidráulico puede verse considerablemente influido por una inadecuada construcción.

A continuación se detalla tanto el material usado como las instrucciones para realizar la construcción de una planta de tratamiento de aguas grises mediante humedales artificiales:

5.4.1 Limpieza y establecimiento de una plataforma de trabajo.

Con esta actividad se da inicio a la construcción del sistema de tratamiento. Su finalidad es la de retirar diversos objetos, corrales existentes y la capa vegetal superficial (aproximadamente 0,1 m de espesor) que se encuentren en el sitio donde se construirá la instalación con el fin de mantener libre de obstáculos la zona de trabajo (7,75 m x 2,20 m). También incluye el acondicionamiento y transporte de todo el material recogido. El resultado final de las actividades de desbroce y limpieza será la obtención de la plataforma de trabajo.

5.4.2 Trazado y replanteo.

Se refiere al trazado y replanteo del área a construir, (fotos 59 y 60), que se realizará y verificará durante el tiempo que dure la construcción. Una vez conformada la plataforma de trabajo se realiza el replanteo del tratamiento

completo según las dimensiones especificadas en el plano de planta y corte mostrados anteriormente, utilizando indicadores (estacas y tiza en polvo por ejemplo) que señalen los puntos más singulares e importantes de la construcción, que sirven a su vez para marcar las cotas básicas de la excavación y para determinar la línea piezométrica de la instalación.



Foto 59 y Foto 60 Trazado con tiza en polvo y estacas.

5.4.3 Excavación y movimiento de tierras.

Una vez definida en el terreno la ubicación de cada elemento de la instalación, se procede a excavar. La excavación se realizará en forma manual. De acuerdo con la topografía de la zona y, principalmente si el sitio de construcción lo requiere, será necesario encajar la cota de proyecto mediante taludes de excavación. Los taludes de excavación pueden ser temporales o permanentes.

La excavación se realiza según las medidas especificadas en el plano de planta y corte, foto 61. Se sobredimensiona ligeramente (unos 10 – 20 cm) para poder hacer reajustes si son necesarios.

También se realizan las excavaciones para el tanque sedimentador, el tanque de repartición de caudal y el tanque de recolección de agua tratada.

Es importante que el material extraído no obstruya ni el perímetro de la plataforma de trabajo (realizado en el paso anterior) ni el acceso abierto para el

transporte. Por otro lado, se va a necesitar una pequeña parte del material extraído para futuros rellenos, por lo que tampoco es conveniente llevar todo el material muy lejos.

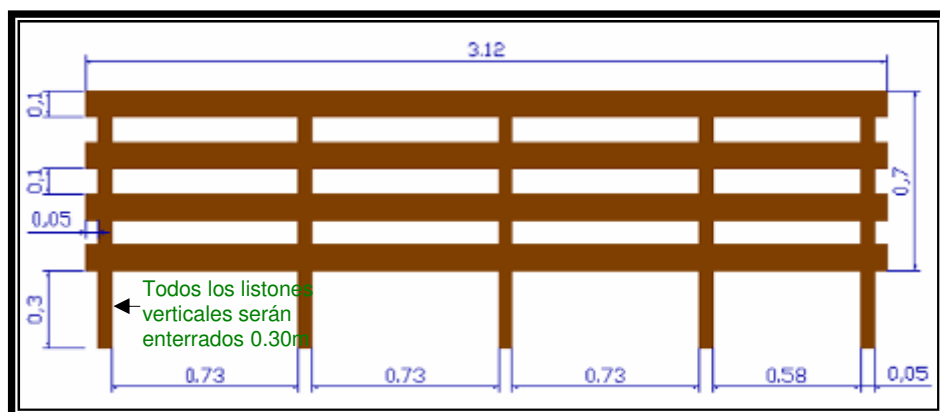


Foto 61 Avance según el diseño y excavación de los humedales.

5.4.4 Preparación de refuerzos laterales de madera

Los refuerzos laterales de madera constan de cuatro listones horizontales de madera de 3,12 m x 0,1 m x 0,01 m enlazados con cinco listones verticales de madera de 1 m x 0,05 m x 0,025 m mediante clavos de 1" como muestra la figura 29, deben ser lo suficientemente rígidos como para aguantar las cargas de la piedra chancada y la del propio terreno de los alrededores sin romperse

Fig. 9, Detalle de las medidas del refuerzo de madera.



Pueden ser de diferentes tipos y de distintas formas constructivas, dependiendo de la superficie por lámina de la que se disponga y del tamaño del humedal a construir pero siempre debe tener una superficie lisa y ausente de zonas punzantes en la parte interior para evitar roturas de la geomembrana de PVC.

La altura final del refuerzo debe superar la del humedal en lo máximo posible dentro de un margen razonable (5 - 10 cm), de este modo se obtiene una barrera contra la arena del exterior o algún deslizamiento de tierra en los alrededores del humedal

Tener en cuenta que en cada refuerzo sobrarán 0,30 m de listón de madera, los cuales servirán para ser enterrados en la zanja de cada humedal, los cuales darán mayor rigidez.

Por último se da la vuelta a la pieza con cuidado y, por seguridad, se doblan las puntas de los clavos hasta una posición menos filosa, ver foto 62.



Foto 62 Clavado de listones para refuerzo lateral del humedal.

5.4.5 Instalación de refuerzos laterales de madera y nivelación

Los refuerzos laterales se colocarán aproximadamente 0,30 m por debajo del nivel mínimo de la zanja del humedal, previamente se deberá de excavar 0,30 m en la zona donde van los listones verticales.

Así mismo se deberá tener en consideración que para un humedal se tendrá una distancia de 0.85m interna entre los refuerzos laterales, ver fotos 63 y 64.



Foto 63 y Foto 64 Instalación de los refuerzos laterales y nivelación manual de la zona de salida.

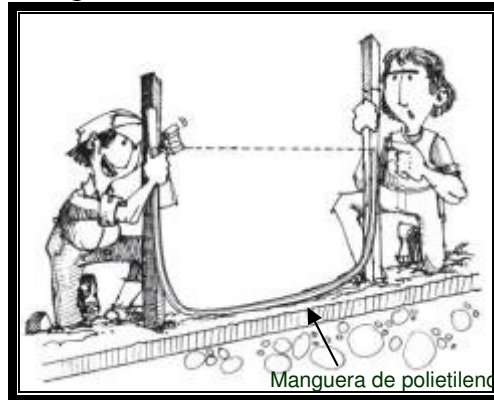
Luego se nivela el suelo, con una pendiente del 2% (2 cm por metro de humedal) usando arena o material limpio zarandeado extraído en la etapa de movimiento de tierras. Esta parte es muy importante dado que una mala nivelación o compactación produce problemas de flujos preferenciales y zonas muertas, ver fotos 65 y 66.



Foto 65 y Foto 66 Compactación y nivelación del fondo del humedal.

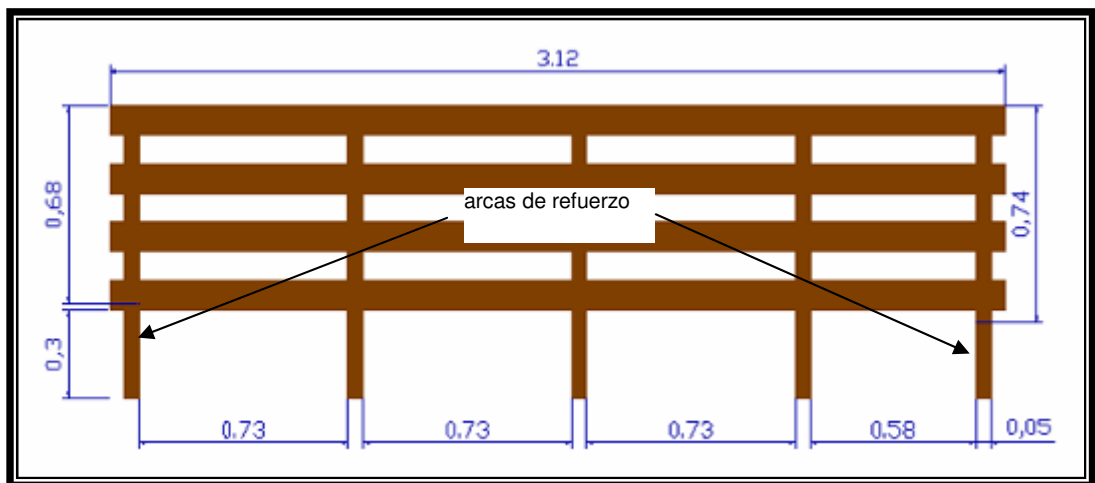
Para la nivelación se llena la manguera de polietileno con agua limpia y se verifica que no haya burbujas en su interior. Después se pasa la manguera por la parte inicial y final de cada refuerzo verificándose que estén a la misma altura, ver figura 30.

Fig. 30, Nivelación del suelo.



Cuando el refuerzo se encuentra en la posición adecuada (Fig. 31), se rellena el interior hasta las marcas del refuerzo en el fondo. Si es necesario, se rellena con tierra o arena limpia y, terminado el último paso, se revisa la superficie de nuevo para retirar posibles elementos punzantes.

Fig. 31 Se muestra las marcas de refuerzo.



La entrada y salida del humedal será con el propio terreno teniendo en cuenta que esta rampa tendrá una pendiente de 45°, se nivelará en forma manual con material del propio terreno o con restos de lo excavado, pero previo zarandeo.

5.4.6 Instalación del tanque de repartición de caudal

Se utilizó un balde de 20 litros de capacidad para repartir el caudal proveniente del tanque de sedimentación, con una tubería de 2” como lo muestran las siguientes fotografías.

A la salida de éste se colocó una unión universal de 1” que servirá para un fácil desmontaje en un futuro mantenimiento.

Este tanque de repartición de caudal a la vez se comporta como una trampa de grasas debido a que en el interior se encuentran dos tubos tipo “tee” de 1” y empalmada en el interior con un tubo de 1” de 0.05 m en cada “tee”. Lo cual hace que las partículas de grasa queden retenidas en el tanque y así no pasen a los humedales, ver fotos 67 y 68.



Foto 67 y Foto 68 Colocación de accesorios y tapa del tanque de repartición de caudal.

5.4.7 Tanques de sedimentación y de recolección de agua tratada

Se realiza la excavación de la zanja de acuerdo a los detalles indicados en la Fig. 31, dejando 0,10 m a cada lado, para luego proceder al encofrado, llenado de concreto, desencofrado y alisado.

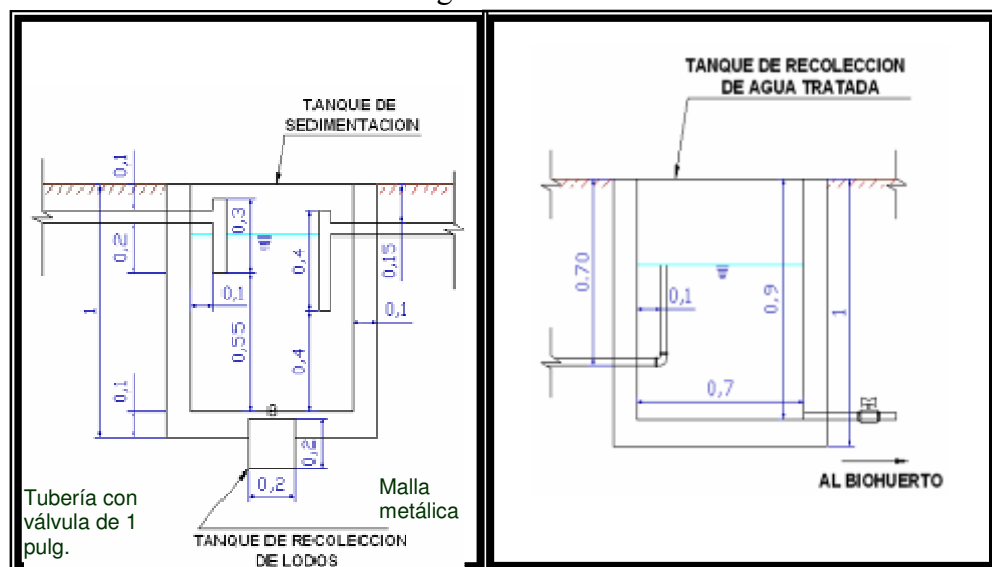
Los tanques de sedimentación y de recolección del agua tratada son de la misma medida (ver figura 32), deben ser lo más grande y ancho posible. Un tamaño mayor aumenta el tiempo de retención, con lo que la eficacia de remoción de sólidos aumenta.

La entrada al tanque de sedimentación consiste en una tubería de 2" dirigida hacia el fondo con una te de 2" y se empalma en el interior con un tubo de 2" de 0,10 m. La tubería de ingreso se encuentra a 0,10 m de la parte superior del tanque.

La salida del tanque de sedimentación es también mediante un tubo de 2" de 0,20 m, una "T" de 2" y una tubería de 2". La particularidad del tubo que se encuentra en la parte inferior es que cuenta con una malla, la cual sirve para retener algunas partículas en suspensión que pudieran pasar al tanque de repartición de caudal. La tubería de salida se encuentra a 0,15 m de la parte superior del tanque.

Se ha previsto además una salida de 1" en la parte inferior lateral del tanque de sedimentación, con el objetivo de recolectar los lodos, mediante un balde de 4 litros.

Fig. 32 Dimensiones del tanque de sedimentación y del tanque de recolección de agua tratada.



El tanque de recolección de agua tratada recibe las aguas de los humedales mediante una tubería de 1" por humedal, la medida del tubo de 1" que va en forma vertical se logra a partir de una nivelación con la manguera, entre el final del humedal y la pared interna del tanque, tal que el nivel del agua en el humedal esté a 0,35 m de la parte superior del refuerzo de madera.

En la pared opuesta a la salida de los tubos provenientes del humedal se colocó 0,25 m de tubo de 1", una válvula de 1" y una reducción de 1" a 1/2", con la finalidad de empalmar con una manguera y así abastecer al biohuerto.

Las fotos 69 y 70 muestran en el proceso de construcción del tanque que incluye el encofrado y la foto 71 muestra el alisado del tanque.



Foto 69 y Foto 70 Se aprecia el encofrado y el tanque sin alisado.



Foto 71 Vista del alisado del tanque.

Las fotos 72 y 73, nos muestran la vista lateral del tanque de sedimentación y de las instalaciones sanitarias (lavadero y ducha) empalmadas al tanque de sedimentación.



Foto 72 y Foto 73 Vista lateral del tanque de sedimentación y vista típica de las instalaciones sanitarias.

En las fotos 74 y 75 se aprecia la colocación de accesorios para controlar el nivel del agua del humedal y colocación de válvula con reducción a la salida del tanque de recolección de agua tratada para abastecer al biohuerto.



Foto 74 y Foto 75 Colocación de accesorios y colocación de válvula con reducción.

5.4.8 Conexión de entrada del humedal

La conexión de entrada distribuye el flujo en el humedal y controla el direccionamiento del flujo. Múltiples entradas espaciadas a través de cualquiera de los extremos de los humedales son esenciales para garantizar la uniformidad en la distribución del efluente y el flujo a través de los humedales. Estas estructuras ayudan a prevenir "zonas muertas", donde el movimiento de agua es deficiente.

Se debe considerar una buena instalación entre el tanque de repartición de caudal y cada humedal, teniendo en cuenta que la tubería de conexión deberá tener una pendiente mínima.

Se tendrá especial cuidado en la ubicación exacta de la entrada del tubo en cada humedal, para así realizar un pequeño agujero en la geomembrana para instalar un niple especial (es un tubo de 0,15 m roscado en toda su longitud y cuenta con dos tuercas y dos empaquetaduras) de 1", ver fotos 76 y 77.



Foto 76 y Foto 77 Ubicación exacta del niple especial en la rampa de ingreso del humedal y empalme con el tanque de repartición de caudal.

La tubería de distribución de agua residual estará conformada por una unión universal de 1", una "T" de 1" y dos tubos de 1" a los costados con sus respectivos tapones.

Se marca con un plumón la ubicación de los agujeros que serán cada 5 cm y de igual tamaño (1 cm de diámetro) para distribuir el agua residual por el ancho del lecho. Esto se obtiene calentando una varilla pequeña de fierro corrugado de construcción de 3/8" y luego haciendo el agujero.

Se conectan los tubos cortos a la "T" de modo que queden alineados, así como los agujeros y se colocan los tapones en los extremos, ver foto 78.



Foto 78, Detalle de conexión de entrada en "T".

Las conexiones a presión se encolan con un pegamento especial para PVC, comprobando que las zonas a pegar estén lisas (limar en caso contrario) y limpias. Si se trata de una tubería de rosca, usar una cantidad importante de teflón para sellar la unión entre tubería y accesorios.

5.4.9 Conexión de salida del humedal

La estructura de salida ayuda a controlar el flujo uniforme a través de los humedales, así como la profundidad de funcionamiento. Si se utilizan para la salida colectores sumergidos se deben conectar a un dispositivo de control de nivel que permita al operador ajustar la profundidad del agua en el humedal.

La altura de la lámina de agua se mantiene constante gracias al sistema de vasos comunicantes situado en la salida del agua, igualando en condiciones normales el caudal de salida con el de entrada. En caso de inundación, el caudal de salida aumenta hasta que recupera la altura de la lámina de agua, que en este caso es de aproximadamente 35 cm.

Dado que la tubería de recolección sale del humedal por debajo del nivel del suelo colindante, se realiza una zanja que permita conectar dicha tubería con el tanque de recolección de agua tratada.

La conformación más adecuada para la tubería de recolección será en “L”. Se corta un tubo de PVC y, del mismo modo que la conexión de entrada, se realizan agujeros iguales y equidistantes en toda su longitud. Su distribución y tamaño son menos críticos que en la entrada, dado que, cuando el humedal se encuentre funcionando, el tubo estará totalmente sumergido. Los tapones sellan los extremos libres.

También se tendrá especial cuidado en la ubicación exacta de la salida del tubo en cada humedal, para así realizar un pequeño agujero en la geomembrana para instalar un niple especial de 1”, ver fotos 79 y 80.



Foto 79 y Foto 80 Detalle de la conexión de salida del humedal. Vista externa e interna del humedal.

5.4.10 Impermeabilización

Para la impermeabilización se usará una geomembrana de PVC de 0,5 mm. Se debe instalar con mucho cuidado para no rasgarla ni dañarla, un agujero comprometería la impermeabilización e impediría el correcto funcionamiento del sistema y podría significar el vaciado del humedal enteramente para reemplazar la geomembrana, ver fotos 81 y 82.

Es aconsejable la instalación de una lámina geotextil que proteja la geomembrana. Si la piedra chancada a usar es afilada y con muchas puntas, se pondrá la lámina geotextil entre ésta y la geomembrana. Si el suelo es susceptible de rasgar la membrana, entonces la lámina geotextil irá por fuera. Si los dos medios son suficientemente peligrosos para la membrana de PVC, se hará una conformación “sándwich”, con dos láminas geotextiles protegiendo por ambos lados. Por la experiencia realizada, lo más conveniente es colocar la lámina geotextil no tejida entre la geomembrana y la piedra chancada, ver fotos 83 y 84.

Dependiendo del caso, se irán colocando las capas correspondientes, evitando que la arena, piedra, etc., se cuele entre las capas.



Foto 81 y Foto 82 Instalación de geomembrana de PVC de 0,5 mm.



Foto 83 y Foto 84 Instalación de la lámina geotextil no tejida.

5.4.11 Colocación del sustrato (material filtrante)

Se recomienda el empleo de grava como sustrato para prevenir la obstrucción. El sustrato debe ser lavado para eliminar la tierra y otros elementos que pueden contribuir a su obstrucción, ver foto 85.

Inicialmente se coloca una primera capa de canto rodado previamente limpiado sólo en la entrada y salida del humedal. Es importante que la tubería de salida esté poco presionada por el peso de la piedra y que los agujeros de ésta no se vean tapados por los cantos. Se pueden colocar algunas rocas de canto rodado debajo de la tubería para que tenga una base y después ya se puede proseguir colocando piedras encima.

Posteriormente se vierte la piedra chancada de ½”, limpia también. A medida que se rellena la zona de material granular, se va añadiendo más cantidad de canto rodado; no se puede verter toda la necesaria al mismo tiempo porque se esparciría más allá de los límites acotados. Cuando ya se tiene una capa considerable de piedra, entonces sí que se puede pisar para nivelarla, dado que el peso estará mucho más repartido. Del mismo modo que con el canto rodado.

Simultáneamente al vertido de la piedra chancada de ½” se colocan en cada humedal en la parte central 3 respiraderos, uno cada 0,75 m a lo largo del humedal, ver fotos 86 y 87. La fabricación de éstos es muy sencilla: se cortan tubos de PVC de 0,50 m y se les practican orificios de unos 5 mm hasta una altura de 0,40 m. Los respiraderos tienen tres funciones: permitir la observación del nivel, conocer la calidad del agua en distintos puntos a lo largo del humedal y actuar de chimeneas de aireación del sustrato.



Foto 85 Lavado de grava de ½” en una batea metálica.



Foto 86 y Foto 87 Transporte con carretilla, disposición del sustrato en el humedal y llenado uniforme en el humedal.

5.4.12 Vegetación

La plantación será la última etapa del proceso constructivo del humedal. Se realizará cuando el resto de elementos estén correctamente ejecutados y se haya probado el funcionamiento completo de la instalación.

Se ha procedido a trasplantar totora proveniente del humedal artificial de flujo subsuperficial de la Planta de Tratamiento de aguas residuales de la Universidad Nacional de Ingeniería UNITRAR que se encuentra en el distrito del Rímac en Lima y en el proceso de seguimiento se tuvo que hacer resiembra con plántulas de totora recogida del humedal de Ventanilla.

En el cuadro N° 17, se muestran otras plantas emergentes utilizadas para el tratamiento de aguas residuales.

Cuadro N° 17, Planta utilizadas en el tratamiento de aguas residuales

Nombre común	Nombre científico	Distribución	Temperatura en °C		Máxima salinidad	Rango de pH efectivo
			Deseable	Germinación de la semilla	Tolerancia ppmil	
Totora	Typha spp.	En todo el mundo.	10 - 30	12 - 24	30	4 - 10
Caña común	Phragmites communis		12 - 23	10 - 30	45	2 - 8
Junco	Juncus spp		16 - 26		20	5 - 7.5
Junco	Scirpus		18 - 27		20	4 - 9
Cañizo	Carex spp		14 - 32			5 - 7.5

Las totoras se plantarán en cada humedal formando dos filas paralelas por todo lo largo, serán 7 plantas por fila distribuidas de manera equidistante.

Se realizan pequeños agujeros en el lecho, se introduce la planta (plántulas o rizomas de otros sistemas) y se vuelve a tapar, tener en cuenta que parte de las raíces deben sumergirse en el agua, ver foto 88.



Foto 88 Plantación de totoras.

En la foto 89 se muestra el sistema completo instalado del humedal artificial, para el tratamiento de aguas grises en las granjas de crianza de ganado porcino.

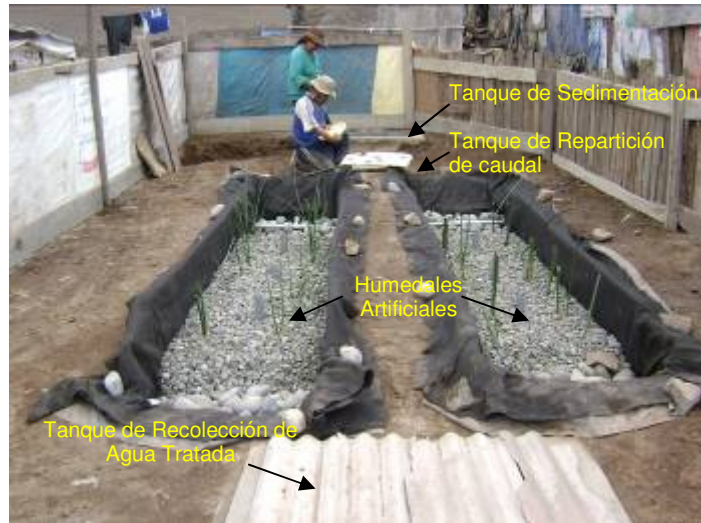


Foto 89 Planta de tratamiento de aguas grises mediante humedales artificiales.

5.5 Mantenimiento y operación

5.5.1 Inspecciones iniciales y pruebas

El humedal deberá ser inundado y todos los componentes deben ser probados exhaustivamente para asegurarse de que están funcionando correctamente a través

de la comprobación de los niveles de agua y la búsqueda de alguna fuga en las tuberías y empalmes.

El inicio del sistema comprende la provisión y plantación de los humedales y un período en el que el suelo, plantas y microorganismos puedan adaptarse a las condiciones hidrológicas en el humedal. Al igual que todos los sistemas vivos, los humedales están en mejores condiciones para tolerar el cambio si se les ha permitido un periodo inicial de estabilización.

Después de este periodo, se deberá realizar un aumento gradual en el flujo del agua residual para permitir que el sistema pueda adaptarse a las nuevas características del agua. El agua residual no debe añadirse hasta que las plantas hayan mostrado un nuevo crecimiento, lo que indica que las raíces se han recuperado del trasplante.

Se considera que la puesta en marcha ha finalizado cuando la vegetación está bien consolidada, es decir aproximadamente un año o ciclo biológico. Las poblaciones bacterianas responsables en gran parte de la eliminación de los contaminantes se desarrollan en un periodo que va de 3 a 6 meses según lo comprobado en la operación de antiguos humedales en la misma zona.

5.5.2 Operación y mantenimiento de los humedales artificiales

La operación y el mantenimiento del humedal consisten en el control hidráulico y de la profundidad del agua, la limpieza de las estructuras de entrada y descarga, el corte de la hierba, la inspección de la integridad, el manejo de la vegetación del humedal y el seguimiento rutinario.

La profundidad del agua en el humedal puede requerir ajuste periódico según sea la estación o en respuesta al aumento a largo plazo de la resistencia por la acumulación de detritos en los poros del medio. El control de mosquitos puede no ser requerido en sistemas de humedales de flujo subsuperficial en la medida que la superficie del agua se mantenga debajo de la superficie superior del medio. El manejo de la vegetación en estos humedales no incluye la poda rutinaria y disposición del material podado. La remoción de contaminantes por parte de la vegetación es un

mecanismo relativamente insignificante de manera que el corte y la remoción rutinaria de la vegetación no proporcionan un beneficio significativo en cuanto al tratamiento.

Se requiere un seguimiento rutinario de la calidad del agua en los humedales. El muestreo será normalmente al agua residual no tratada (entrada del tanque de sedimentación) y al efluente final del sistema (salida del tanque de recolección de agua tratada). Esto permitirá que el operador tenga un mejor entendimiento del desempeño del humedal y le proporcione la base para hacer ajustes de ser necesarios. (Folleto informativo de tecnologías de aguas residuales. Humedales de flujo subsuperficial, EPA.)

Los puntos críticos en los que la intervención del operador (miembro de la familia), es necesaria son los siguientes:

- **Nivel de agua y de control de flujo**

El nivel de agua y el control de flujo son generalmente las únicas variables operacionales que tienen un impacto significativo sobre un humedal. Los cambios en los niveles de agua afectan a la hidráulica tiempo de residencia, la difusión de oxígeno atmosférico en la fase de agua, y la cubierta vegetal. Cambios significativos en los niveles de agua deben ser investigados de inmediato, ya que puede ser debido a fugas, obstrucción de las salidas, drenaje de aguas pluviales u otras causas.

- **Mantenimiento de la uniformidad de flujo**

Mantener el flujo uniforme en todo el humedal a través de entrada y salida de los ajustes es sumamente importante para lograr el rendimiento esperado del tratamiento. La entrada y salida de los colectores deben ser inspeccionadas regularmente y rutinariamente ajustadas y se debe comprobar la limpieza de desechos que pueden obstruir los orificios de entrada y salida. Será necesaria la eliminación de desechos y la eliminación de placas bacterianas de la tubería de distribución de aguas residuales y la tubería de recolección de agua tratada.

Estas deberán lavarse mensualmente, para lo cual sólo será necesario desenroscar la unión universal de 1" que se encuentra en la entrada del humedal.

- **Gestión de la vegetación**

El mantenimiento rutinario de la vegetación de los humedales no es necesario para los sistemas que funcionan dentro de sus parámetros de diseño. Se recomienda realizar la poda de las totoras cuando estas alcancen por lo menos 3 m de altura, altura que se alcanza tras 3 ó 4 meses, mediante una hoja de sierra o una navaja de mano.

El objetivo primordial en la gestión de la vegetación es que la planta mantenga su crecimiento normal. Esto se logra evitando cambios en los niveles de agua mediante el proceso de operación.

- **Control de olor**

Los olores rara vez son una molestia. Los olores emitidos por las zonas abiertas de agua son típicamente asociados con condiciones anaeróbicas, que pueden ser creadas por el exceso de DBO y la carga de amoníaco. Por lo tanto, la reducción de la carga orgánica y de nitrógeno puede controlar la aparición de olores desagradables, a través de la limpieza frecuente del tanque de sedimentación y disminuyendo el vertido de materia orgánica en las aguas residuales.

- **Control de plagas de insectos**

El control de mosquitos es una cuestión crítica en los humedales de flujo libre. Es decir, para este proyecto no se tendrá ese problema debido a que el humedal es de flujo subsuperficial y, por tanto, no presenta superficie libre.

- **Mantenimiento de la geomembrana y del refuerzo de madera**

La geomembrana y el refuerzo de madera pueden verse seriamente afectados si durante el tiempo de funcionamiento de los humedales se plantan árboles

alrededor de éstos, ya que es posible que las raíces penetren la geomembrana o alteren la disposición de los refuerzos de madera.

- **Medio granular**

Cuando la colmatación del medio granular es muy severa, apareciendo extensas zonas encharcadas y reduciéndose la eficiencia del sistema, se debe proceder a la sustitución del medio. En principio estos sistemas se dimensionan para que la colmatación, si aparece, lo haga hacia el final de la vida útil de la instalación. No obstante, una excesiva carga contaminante, junto con una gran acumulación de restos vegetales puede reducir notablemente los espacios intersticiales y obturar el medio granular antes de lo previsto. Otras veces la colmatación se relaciona con sistemas que no han sido bien diseñados y que en periodos cortos, de 3 a 4 años, ya empiezan a mostrar síntomas de bajo rendimiento.

En sistemas de flujo horizontal, los vaciados intermitentes permiten solucionar temporalmente síntomas de colmatación. No obstante, a medio o largo plazo estos sistemas acaban por colmatarse. La prevención de la colmatación pasa por tener una buena operación y mantenimiento del sistema.

- **Vigilancia**

La vigilancia rutinaria es esencial en la gestión de un sistema de humedales. A través de la supervisión y evaluación de la medición de los caudales de entrada y salida, la calidad del agua, los niveles de agua y los indicadores de las condiciones biológicas.

5.5.3 Operación y mantenimiento del tanque de sedimentación

La operación y el mantenimiento del tanque de sedimentación consiste en evacuar en baldes de 20 litros (Tanque de recolección de lodos) que se encuentra en la parte inferior cada 6 meses, mediante la tubería y válvula de 1" que se encuentra en la parte externa inferior del tanque de sedimentación, así como lavar la pared interna de todo el tanque con detergente para evitar la proliferación de algas. Además, con

un cepillo y agua se deberá limpiar la malla que se encuentra en la salida del tanque, con la finalidad de los restos acumulados no impidan la salida del agua residual.

Así mismo se deberá limpiar, con una espátula o malla, la nata de sólidos y grasas que se encuentra suspendida en la superficie del agua residual del tanque para evitar la formación de condiciones anaerobias, la cual traerá malos olores al sistema.

Los residuos orgánicos deberán ser llevados hacia la zona de compostaje para su tratamiento. Y los residuos inorgánicos hacia los contenedores de residuos domiciliarios.

5.5.4 Operación y mantenimiento del tanque de repartición de caudal

Se recomienda realizar el lavado del tanque de repartición de caudal una vez al año. Se deberá, en primer lugar, excavar los alrededores de éste teniendo mucho cuidado con la tubería de 2" que ingresa y las tuberías de 1" que salen. El desmontaje de este balde se realizará con el desenroscado de las uniones universales de 1" que se encuentran a la salida de este tanque. El lavado del tanque será con un cepillo, un trapo, detergente y agua.

5.5.5 Operación y mantenimiento del tanque de recolección de agua tratada

En primer lugar, el mantenimiento del tanque de recolección de agua tratada se deberá realizar en forma conjunta con el del tanque de sedimentación para que de esta forma ya no ingrese agua del humedal al tanque de recolección de agua tratada. La operación y mantenimiento consta en evacuar toda el agua tratada hacia el biohuerto luego proceder al lavado de la pared interna con detergente para evitar la proliferación de algas.

5.6 Actividades complementarias y de monitorización

Las capacitaciones se realizaron una vez por semana con una duración promedio de dos horas cada una. El punto de trabajo se ubica en una zona céntrica a los pobladores del Parque Porcino de Ventanilla.

Los temas a tratados durante la etapa de capacitación son:

- Escasez de agua.
- Herramientas para combatir la escasez del agua.
- Necesidades generales de los candidatos que serán satisfechas con la implementación de un humedal artificial.
- Funciones, partes, materiales y equipos que conforman un humedal artificial.
- Descripción de los trabajos a realizar durante la etapa de instalación.
- Responsabilidades de los candidatos seleccionados antes, durante y después de la etapa de instalación.
- Ventajas de la implementación de un humedal artificial.
- Manejo y cuidados de un humedal artificial.
- Tecnologías alternas para el tratamiento de las aguas jabonosas.
- Otros temas que el capacitador considere necesario incluir.

Actividades de monitorización

Una buena alternativa para las labores de supervisión y monitorización consiste en llevar un cuadro resumen de lo que se espera encontrar en cada visita.

Nombre del Beneficiario:						
Equipo	Estado del equipo					
	Buena	Aceptable	Mala	Contaminado	Crecimiento de algas	Acumulación de grasas
Gravilla						
Separador de grasas						
Tanque de recolección de las aguas tratadas						

Para el caso de las plantas helofitas es recomendable llevar un cuadro resumen adicional.

	Sanas	Rebrotos	Depredadas (insectos)	Depredadas (hongos)	Enfermas	Muertas
Número						
Altura						

5.7 Costos de implementación del humedal artificial

Los costos que se muestran están en nuevos soles, los precios de los materiales han sido tomados en octubre del 2009, siendo el cambio de 1 euro = 4 nuevos soles.

a) Cajones

Concepto	Cantidad	Precio unitario S/.	Costo total S/.
Tabla de madera (3.00 metros c/u).	12	10,00	120,00
Tabla de madera (0.90 metro c/u).	24	6,50	78,00
Listones de madera (0.80 cm.)	20	1,00	20,00
Clavos 1 ½"	2 Kg.	3,50	7,00
Costo total de los cajones del humedal			S/. 225,00

b) Cama del humedal artificial

Concepto	Cantidad	Precio unitario S/.	Costo total S/.
Panel de geomembrana (2.00 x 4.20 metros)	2	129.20	258.40
Panel de geotextil (2.00 x 4.20 metros)	2	44.27	88.54
Clavos 1"	2 Kg.	3.50	7.00
Grava	2.5 m ³	65.00	162.50
Costo total de la cama del humedal			S/. 516.44

c) Sistemas de conducción

Concepto	Cantidad	Precio unitario S/.	Costo total S/.
Tubería de 1" (5 metros)	2	14.50	29.00
Tee de 1" s/r	4	0.80	3.20
Tapón hembra de 1" s/r	4	0.50	2.00
Unión universal de 1" s/r	2	2.50	5.00
Codo de 1" 90° s/r	2	0.80	1.60
Unión de 1" s/r	2	1.00	2.00
Te de 2" s/r	1	0.80	0.80
Unión de 2" s/r	1	2.00	2.00
Pegamento de pvc 32 oz	1	13.50	13.50
Costo total del sistema de conducción			S/. 59.10

d) Sistema de ventilación

Concepto	Cantidad	Precio unitario S/.	Costo total S/.
Tubería de 2" (5 metros)	1	40.00	40.00
Te de 2" s/r	6	0.80	4.80

Costo total del sistema de ventilación	S/. 44.80
---	-----------

a) Tanque separador de grasas

Concepto	Cantidad	Precio unitario S/.	Costo total S/.
Saco de cemento	3 sacos	16.50	49.50
Arena fina	1 sacos	2.50	5.00
Arena gruesa	1 sacos	2.50	5.00
Piedra chancada	1/2 m ³	20.00	20.00

Costo total del separador de grasas	S/. 79.50
--	-----------

b) Tanque recolector de aguas tratadas

Concepto	Cantidad	Precio unitario S/.	Costo total S/.
Saco de cemento	3 sacos	16.50	49.50
Arena fina	2 sacos	2.50	5.00
Arena gruesa	2 sacos	2.50	5.00
Piedra chancada	1/2 m ³	20.00	20.00

Costo total del tanque recolector de aguas	S/. 79.50
---	-----------

tratadas	
-----------------	--

g) Mano de obra

Concepto	Cantidad	Precio unitario S/.	Costo total S/.
Tanque separador de grasas	1	75.00	75.00
Tanque separador de grasas	4	75.00	75.00

Costo total de la mano de obra	S/. 150.00
---------------------------------------	------------

g) Costo total

Costo total de los cajones del humedal	S/. 225.00
Costo total de la cama del humedal	S/. 516.44
Costo total de los sistemas de conducción	S/. 59.10
Costo total del sistema de ventilación	S/. 44.80
Costo total del tanque separador de grasas	S/. 79.50
Costo total del tanque recolector de aguas	S/. 79.50
Costo total de la mano de obra	S/. 150.00

Costo total del humedal artificial	S/. 1154.34
---	-------------

6. BIOHUERTOS Y AREAS PRODUCTIVAS

Otro de los grandes problemas, es el valor nutritivo de la alimentación de las familias que viven en el Parque Porcino, así como la alimentación de los cerdos que es en base a residuos orgánicos traídos desde restaurantes, mercados, calles y viviendas.

Por otro lado, la población de Ventanilla está asentada en un arenal y padece de escasez de agua, son pocas las familias que cuentan con abastecimiento de agua por horas, las demás se abastecen con camiones cisternas, por ello pensar en áreas de producción les era imposible, sin embargo con la implementación de los humedales, esto empieza a ser una realidad, por ello se definió complementar el ciclo de manejo de las granjas porcinas, con la implementación de biohuertos y áreas productivas, que permita a las familias contar con determinados productos para la alimentación de sus cerdos, de otros animales menores como cuyes y para la dieta familiar como son las verduras.

Para ello se realizaron algunas pruebas e investigaciones que permitió definir, el tipo de semillas y árboles a plantar, las cantidades riego, cantidad de uso de Biol y de compost, todo esto con la finalidad de dar uso a los demás subproductos de biodigestor como son la parte sólida del biodigestor denominado Biosol, de la parte líquida denominado Biol, del compost que se produce con el exceso de excretas que produce la granja y de las aguas tratadas en los humedales artificiales.

6.1 Marco teórico

Biohuerto, es un espacio pequeño donde se cultiva una gran variedad de plantas alimenticias, medicinales y ornamentales, de una forma intensiva y durante todo el año. El biohuerto tiene una serie de ventajas como son:

Económicas: Las hortalizas son cada vez más caras en el mercado, pero producidas en el biohuerto significarán gran ahorro en dinero.

Calidad: Esto se comprueba en el mejor sabor y textura de los productos del biohuerto porque son más frescos que los del mercado, que llegan desde lugares alejados de Lima y que van perdiendo su frescura durante el tiempo que transcurre desde su cosecha, transporte, comercialización y consumo final.

Variada producción: En el biohuerto se pueden seleccionar las hortalizas deseadas, como lechugas, hortalizas miniatura o baby, especialidades como achicoria, arrúgala, cardo, verduras chinas, hortalizas nativas como atacco, arracacha y una gran variedad de hierbas aromáticas y medicinales como diente de león, paico, ruda, muña, etc. Muchos de estos productos no se encuentran fácilmente en los mercados o son muy caros, pero el biohuerto lo pone al alcance de las familias, además de forma asociada al biohuerto se definen áreas para la producción de maíz, camote, papa o alfalfa, que se usan para la alimentación directa de los cerdos y el forraje para la alimentación de los cuyes.

Nutrición: Las vitaminas y minerales se encuentran sobretodo en los alimentos tiernos y frescos que están disponibles todo el tiempo en el biohuerto.

6.2 Instalación del biohuerto

El lugar elegido para el biohuerto debe tener las características siguientes:

Tamaño variable: De acuerdo a las necesidades y posibilidades de cada familia. También se puede cultivar en recipientes como macetas, cajas, envases en desuso, etc.

Buena iluminación natural: El jardín es el lugar ideal pero iguales resultados se obtienen en espacios más reducidos como patios interiores, azoteas, pasadizos, etc., siempre y cuando se cuente con luz natural y directa. Para el caso de las granjas, es preferible ubicarlo a continuación del tanque de almacenamiento del agua tratada para que por gravedad se pueda realizar el riego, todo ello está contemplado en la actividad inicial que se realiza con las familias cuando se elabora el diseño del plano de mejora de la granja, donde se ubica con ellos cada componente del proyecto y donde también deberá estar de manera separada el área de la vivienda.

Cerco: Si el biohuerto está al aire libre es mejor protegerlo de vientos fuertes y el tránsito de personas y animales menores, que destruyen el huerto, como pollos, patos, perros, gatos, un ejemplo se puede apreciar en las fotos 90 y 91.



Foto 90. Biohuerto cercado con arpillera, casa de Umbelinda y Alejandro.



Foto 91 Vista panorámica del biohuerto instalado en casa de Julia y Pedro.

Agua: El biohuerto debe estar cerca de una fuente de agua ya que las hortalizas requieren de riegos frecuentes por su rápido crecimiento. El riego debe ser lento, a pesar del poco tiempo disponible. El riego con manguera o con balde consume mucha agua, no la distribuye bien y compacta el suelo. Las regaderas con orificios pequeños y las mangueras delgadas y de poco caudal ayudan a regar y economizar el agua. El agua tratada en los humedales será usada para el riego del biohuerto, para ello se harán canaletas de riego, para que discurra el agua y también se usarán baldes. En la foto 92, se puede apreciar el riego del huerto directamente desde el almacenamiento del agua tratada en el humedal.



Foto 92 riego del biohuerto con agua tratada en el humedal

Formas de ahorrar agua en el biohuerto:

- Mantener siempre el suelo cubierto: con plantas sembradas, con hojas muertas, arrancando las malezas y dejándolas secar entre las plantas, ya que así se calienta menos el suelo y el agua no se evapora.

- Mojar lentamente el suelo para que el agua quede en la zona de raíces de las plantas y no se cuele hasta el fondo.
- Regar al anochecer o al amanecer, al ser horas de baja insolación el agua se evapora menos y las plantas aprovechan mejor el agua.
- Usar mucho abono orgánico, porque la fracción orgánica hace que el suelo retenga más el agua, como el compost y el biosol, pero sin llegar a perjudicar las plantas.
- Usar regaderas en forma de lluvia (ver foto 93), éstas pueden ser elaboradas con botellas de plástico recicladas.
- Aprovechar el agua del lavado del arroz, de las verduras, del último enjuague de la ropa, para regar directamente las plantas.



Foto 93 Riego en el biohuerto haciendo uso de regadera.

6.3 Materiales y condiciones básicas para producir en el biohuerto

Técnicas agroecológicas:

En el biohuerto se utilizan las técnicas de la agricultura orgánica o agricultura ecológica, que busca producir sin destruir el suelo, en armonía con la naturaleza, utilizando los recursos de la zona y técnicas de reciclaje.

Estas técnicas también permiten ahorrar, al evitar el uso de productos agroquímicos que son costosos y, mal empleados, pueden contaminar el suelo y los alimentos producidos.

En todo el mundo la agricultura ecológica o agricultura orgánica está creciendo porque muchos consumidores prefieren los alimentos producidos sin fertilizantes y pesticidas no naturales.

La agricultura orgánica da una mayor confianza en que los alimentos producidos tendrán menos riesgo de contaminación para el ambiente y la salud.

Semilla

La semilla es uno de los factores que determinan el éxito de la producción en el biohuerto. La semilla de calidad no es necesariamente cara. Por calidad se entiende sobre todo: alta y rápida germinación, pureza y estar libre de plagas y enfermedades.

Dentro del concepto de semilla también se incluye todo material que se utiliza para propagar plantas, por lo que su reproducción puede ser de origen sexual o asexual.

a) **Semilla sexual:** Es aquella que se desarrolla dentro de un fruto, como en el caso de la espinaca, cebolla, apio, poro, tomate, pimiento, zapallo, etc. También se conoce como semilla botánica, ver foto 94.

b) **Semilla asexual:** Es aquella porción de tallo, raíz u hoja que se puede utilizar para la siembra, como en el caso de yuca, camote, pepino dulce, hierba luisa, menta, orégano, papa, ajo, cebollita china, etc. También se conoce como semilla vegetativa, ver foto 95.

La semilla botánica de hortalizas es por lo general muy pequeña, comparada con otras plantas como frutales, cereales y granos y sólo se requieren de muy pequeñas cantidades en el biohuerto. Por eso se recomienda adquirirlas en lugares de garantía.

Algunas semillas se pueden obtener directamente de frutos sanos y maduros como en el caso de rocoto, caigua, zapallo, ají, pero hay que tener precaución de lavarlas bien y dejarlas secar en ambientes frescos por lo menos una semana o hasta observar que la superficie se vuelva dura.

Una vez obtenidas las semillas por cualquiera de estas dos formas, se deben almacenar en lugares secos y baja temperatura. Por eso nunca deben dejarse al medio ambiente porque la humedad y la temperatura, especialmente durante el verano, causan el envejecimiento de las semillas.

Las semillas se guardan en recipientes herméticos como cajas plásticas, tarros, bolsas plásticas gruesas, papel aluminio, es preferible almacenarlas en el refrigerador, en la

parte intermedia, lo cual alargará la vida útil de las semillas. Por lo general las semillas de hortalizas bien conservadas son muy longevas, duran mucho.

En algunos cultivos es posible producir la propia semilla como por ejemplo rabanito, lechuga, coliflor, nabo, etc. Pero esto significa sacrificar la cosecha y esperar un tiempo mayor hasta la maduración de las semillas en la planta, en cada cosecha se puede destinar algunas plantas para generar semillas.

En el biohuerto se deben elegir semillas de cultivos de rápido crecimiento como rabanito, espinaca, lechuga de hoja, zapallito, vainita, etc. asimismo de fácil cultivo y que se puedan sembrar durante todo el año.



Foto 94 Semilla sexual.



Foto 95. Semilla asexual.

6.4 Herramientas y equipo básico

Lampa (azada) recta: Sirve para dar cortes profundos al suelo para poder voltearlo y prepararlo mejor evitando su compactación y oxigenándolo.

Lampa cuchara: Sirve para recoger los distintos materiales que se usan en el biohuerto como la materia orgánica, el rastrojo, etc.

Lampita de mano: Son mucho más pequeñas y son muy útiles para sembrar, desyerbar, abonar y por supuesto para cosechar.

Trinche: Sirven para remover el suelo endurecido, para levantar la paja para el compost o los rastrojos al final de la cosecha.

Rastrillo: Son útiles para entresacar los terrones duros y poder desmenuzarlos bien. También ayudan a uniformizar el suelo removido para dejarlo bien nivelado. ver uso de lampa y rastrillo en la foto 96.

Pico: Sirve para romper el terreno cuando se encuentra muy endurecido.

Regadera manual: En el mercado existen de diferentes modelos, tamaños. Pero mejor es reciclar algunos desechos domésticos como botellas de plástico de gaseosas, latas, envases de talco, rociadores, etc.

Manguera: Utilizar las de menor diámetro, para evitar pérdida innecesaria de agua y hacer el riego más eficiente.



Foto 96 Uso de lampa y rastrillo en la preparación del suelo.

6.5 Preparación del suelo en el biohuerto

Un suelo sano es el principal componente de una buena producción. Por eso es importante prestar mucha atención a su preparación.

La capacidad productiva de un suelo se conoce como fertilidad que en el biohuerto se debe mantener devolviéndole todos los nutrientes extraídos en cada cosecha.

Un suelo sano presenta una buena fertilidad química (nutrientes o sales minerales), física (porosidad, retención de agua y nutrientes) y biológica (microorganismos benéficos).

Según las proporciones de los componentes minerales los suelos pueden clasificarse en arenosos, arcillosos y francos.

A.- **Suelo arenoso:** Son muy sueltos y se trabajan con facilidad pero conservan poco la humedad y son pobres en nutrientes minerales (fertilidad química).

B.- **Suelo arcilloso:** Son muy finos, conservan mucho la humedad pero cuando están secos se compactan y no dejan pasar el agua, encharcándose y causando la asfixia de las raíces o el poco crecimiento de las plantas.

C.- **Suelo franco:** Son sueltos, tienen un buen nivel de fertilidad, conservan la humedad y drenan el exceso de agua con facilidad

La calidad de los suelos se mejora con la adición de materia orgánica que incrementa la fertilidad del suelo porque mejora su estructura, aumenta la capacidad de retener la humedad, a la vez que lo vuelve poroso, proporciona nutrientes para las plantas y aumenta la actividad microbiana del suelo.

Pasos para una buena preparación del suelo:

1° Limpiar el lugar de todo material grueso y de difícil descomposición (papeles, tallos y raíces del cultivo anterior) así como de elementos inertes (piedras, plásticos, vidrios, latas) que son un obstáculo para el crecimiento de las raíces.

2° Remover el suelo, utilizando una lampa recta, introducirla y remover toda la capa superficial. A la vez con esta operación, estamos incorporando el estiércol. Este paso se conoce como volteado del terreno

3° Al remover el suelo se encuentran partes duras o terrones que será necesario deshacer con la ayuda de la lampa o rastrillo. Esta operación se conoce como **desterronado**.

4° Rociar el estiércol a razón de 2 a 4 kg por cada m². El estiércol debe estar seco (nunca fresco, el estiércol fresco puede llegar a matar a la planta) y debe provenir de granjas conocidas, en el caso del Parque Porcino debe provenir de la propia granja, este estiércol puede ser de animales menores como gallinas o cuyes. Debe estar limpio y libre de restos de rastros gruesos como tallos gruesos y paja.

5° Regar con abundante agua para dar inicio a la descomposición del estiércol incorporado, para ello se utilizará el agua tratada en el humedal.

6° Al cabo de 2 ó 3 días el suelo quedará removido, bien aireado y fertilizado en forma natural con el estiércol incorporado. Utilizando el rastrillo se peina el suelo, aplanándolo pero sin compactarlo. Por esta razón tampoco se debe pisar el suelo preparado. Esta operación se conoce como **nivelación**, ver foto 97.

7° Aplicar compost o humus de lombriz sobre la superficie a razón de 1 a 2 kg/m². Incorporarlo superficialmente ayudándose con una lampita de mano. Volver a nivelar con el rastrillo. El compost será elaborado en cada granja con las excretas sobrantes que ingresan al biodigestor.

8° Marcar los surcos o las camas, siguiendo de preferencia la dirección de este a oeste para aprovechar mejor la luz.

Los surcos se utilizan en biohuertos de gran extensión porque facilitan las labores de cultivo y para regar por canales. En este sistema se tendrá una menor densidad de plantación porque se debe dejar espacios libres para la circulación del agua de riego.

El sistema de camas permite sembrar más plantas por m². Estas camas son de 1.0 - 1.2 m de ancho y de 4 – 5 m de largo. En ellas se puede sembrar cultivos de un solo tipo o en mezclas, tratando de mantener las camas siempre completamente llenas, ver foto 98.



Foto 97 Nivelación del suelo



Foto 98 Armado de las camas de siembra.

6.6 La siembra en el biohuerto

Características de las plantas que se deben elegir para el biohuerto

- Cultivos de rápido crecimiento como rabanito, espinaca, acelga, lechugas, zapallito, vainita, etc.
- De preferencia que sean plantas pequeñas como la acelga, espinaca, ataco y lechuga.
- Las plantas se deben poder sembrar durante todo el año, seleccionando las variedades de invierno o verano de un mismo cultivo como brócoli, tomate, etc.
- Seleccionar en cada región los cultivos que sean más tolerantes al clima, las plagas y las enfermedades.
- Para adicionar áreas de producción agrícola con fines de alimentación de los cerdos y animales menores, se recomienda priorizar, maíz, papa, camote, alfalfa. Para ir creando sombra y poder disponer de otros alimentos se pueden cultivar plátanos. Ver foto 99, donde se aprecia la producción de plátanos, camote y otros productos con este fin.



Foto 99 producción de plátano, camote y otras especies

Se debe recordar que la selección de los cultivos depende mucho de la propia experiencia y de la observación de los biohuertos vecinos:

No siempre los cultivos más adecuados son los mismos en cada lugar, hay que recordar que las siembras que den resultados negativos no deben de volver a sembrarse en el biohuerto y buscar un cultivo alternativo adecuado para remplazarlo.

En Lima, nunca hace excesivo frío, ni calor, como ocurre en otros países del mundo, por eso se puede sembrar durante todo el año la mayoría de las hortalizas.

La siembra de invierno es la más sencilla y productiva, mientras que la siembra en verano es más difícil porque el agua escasea y las plagas aumentan. Por eso se debe hacer una selección cuidadosa a la hora de la siembra.

La siembra de verano o época calurosa es más exigente, porque las plantas necesitan más riego por el calor, los insectos son más abundantes y las personas necesitan estar atentas observando con mayor frecuencia para eliminar las plantas enfermas o atacadas.

En general, antes de sembrar se debe considerar cuidadosamente la época de siembra, ya que el clima predominante (frío, caluroso, húmedo, seco ó lluvioso) influirá sobre el crecimiento y producción de las hortalizas.

Aquellos cultivos que prefieren climas fríos crecerán poco en el verano y su producción será mejor durante el invierno. Por ejemplo las lechugas, zanahorias y brócoli.

Por el contrario, las hortalizas de clima cálido como los pepinillos, pimiento, melón, pallar entre otros, no crecerán bien en época fría por lo que no se recomienda sembrarlas en invierno a no ser que se haga en lugares cerrados y protegidos, tales como invernaderos.

Un tercer grupo, muy numeroso, lo constituyen las hortalizas que se adaptan a diferentes climas, pero sin llegar a extremos. En la condiciones del departamento de Lima, en la costa, estas hortalizas se pueden sembrar todo el año. Algunos ejemplos son acelga, cebolla, betarraga (remolacha), rabanito, vainita y zapallito italiano.

En resumen se debe considerar que hay hortalizas de diversas épocas:

Hortalizas de época cálida: Se siembran en primavera o verano: albahaca, ají, melón, pallar verde, pepinillo y sandía.

Hortalizas de época fría: Se siembran en otoño o invierno: albahaca, apio, arveja, brócoli, caigua, cebollita china, col, culantro, espinaca, haba verde, lechuga, nabo, perejil, poro, zanahoria, zapallo.

Hortalizas de toda época: Se siembran durante todo el año: acelga, betarraga, cebolla, espárrago, hierbabuena, huacatay, lechugas, maíz choclo, menta, orégano, rabanito, tomate, vainita y zapallito.

6.7 Tipos de siembra

A.-Siembra directa: Estos cultivos deben sembrarse dejando el distanciamiento definitivo que tendrán las plantas al estado adulto. Esta siembra de preferencia se hace en línea corrida en el biohuerto para asegurar una buena germinación. Pero esto dependerá del tipo de suelo del biohuerto.

En esta siembra se utiliza más semilla pero se asegura el número de plantas requeridas. Se recomienda este tipo de siembra en aquellos cultivos que presentan semillas muy pequeñas y de difícil manipulación, como lechugas, zanahorias y en aquellos que por su rápido crecimiento no se justifica el trasplante como espinaca y rabanito, ver foto 100.

También se utiliza la siembra por golpes en aquellos cuya semilla es más fácilmente manejable y donde generalmente no es necesario desahijar o eliminar plantas excedentes, ejemplo zapallito y culantro.

Las hortalizas que se recomienda siembra directa son: ajo, arveja, caigua, cebollita china, culantro, espinaca, haba verde, hierba buena, hierba luisa, maíz choclo, menta, nabo, orégano, pepinillo, pallar, perejil, rabanito, sandia, vainita, zapallito, zapallo y alfalfa.



Foto 100 Siembra directa de alfalfa.

B.-Siembra indirecta: Se realiza en aquellos cultivos que primero se siembran en un almácigo, ya sea porque su crecimiento inicial es muy lento (apio, poro y cebolla) ó porque su cultivo requiere de un distanciamiento muy grande entre planta y planta (coles y brócoli).

El almácigo se hace de preferencia en bandejas pequeñas, donde se prepara una mezcla a base de compost + tierra (50/50) ó con 2 partes de compost con una de arena (el compost se puede remplazar con humus de lombriz o con musgo tamizado).

Las semillas se siembran en forma ordenada colocando 1 ó 2 semillas en cada casillero o en líneas si es que la bandeja utilizada no tiene divisiones. Las bandejas se deben colocar en ambientes protegidos y cálidos, pero apenas empiecen a aparecer las plántulas es necesario colocarlas en un lugar bien iluminado que puede ser el mismo biohuerto.

El almácigo también se puede hacer en una cama del biohuerto, pero en este caso hay que preparar la cama de manera más cuidadosa (ver foto 101), aplicar un poco más de compost o humus de lombriz antes de la siembra y sembrar a línea corrida, de manera similar a la siembra directa siempre que el suelo no presente problemas de sales.



Foto 101 Almácigo de lechuga en el suelo del biohuerto

El tiempo de almacigado, será entre 30 y 60 días dependiendo del cultivo, será de 30 días para el caso de lechuga, brócoli, col y tomate (ver foto 102), y será de 60 días, para el caso de pimiento, cebolla, poro, apio y ají.



Foto 102 Almacigo de brócoli en bandeja

El trasplante: Se realiza en suelo húmedo y dejando entre planta y planta el distanciamiento adecuado, ver fotos 103 y 104. Las hortalizas que se siembran por trasplante son: ají, apio, brócoli, col, coliflor, pimiento y poro.



Foto 103 y Foto 104 Marcando el distanciamiento entre plantas para el trasplante.

C.- Siembra mixta: Se aplica en aquellos cultivos que se adaptan a uno y otro sistema de siembra descrito anteriormente. Se pueden almacigar para ganar tiempo en el biohuerto y trasplantarlos inmediatamente después de haber cosechado el cultivo anterior. Pero también se pueden sembrar en forma directa y después separar el exceso de plantas dejando, de acuerdo a cada cultivo, una ó dos plantas al distanciamiento adecuado.

En hortalizas de siembra directa, este exceso de plantas se elimina y no se deben trasplantar.

La separación de plantas para dejarlas al distanciamiento definitivo se conoce como raleo o desahije.

Si esta labor no se hace, las plantas crecerán muy débiles, delgadas y alargadas por falta de espacio y luz y no llegarán a producir. Por eso el desahije debe hacerse lo más temprano posible, cuando las plantas tengan entre 5 y 10 cm de altura.

Las hortalizas de siembra mixta son: acelga, albahaca, betarraga, cebolla, hinojo, huacatay, lechuga y tomate.

A continuación en los cuadros 18, 19 y 20, se muestra la hortaliza, el tipo de siembra que puede tener, el distanciamiento recomendado entre planta y planta y el tiempo requerido para realizar la cosecha.

Cuadro 18, Hortalizas de primavera – verano

Cultivo	Tipo de siembra	Distanciamiento (cm.)		Cosecha (días)
		Hileras	Plantas	
Apio	Almácigo	50	50	50-70
Melón	Almácigo	100	30	90-120
Pallar	Directa	100	50	70-120
Pepinillo	Directa	40	40	50-60
Pimiento	Almácigo	50	25	85-100
Sandía	Directa	100	100	80-120

Cuadro 19, Hortalizas de otoño – invierno

Cultivo	Tipo de siembra	Distanciamiento (cm.)		Cosecha (días)
		Hileras	Plantas	
Albahaca	Mixta	40	20	60
Apio	Almácigo	30	20	150-180
Arveja	Directa	50	50	80-120
Brócoli	Almácigo	40	40	90-100
Caigua	Directa	100	100	100
Cebolla china	Directa	20	10	60-80
Col	Almácigo	50	50	80-100
Coliflor	Almácigo	50	50	80-100
Culantro	Directa	20	20	60
Espinaca	Directa	20	10	40
Haba verde	Directa	80	40	100
Hinojo	Mixta	50	30	90
Lechuga	Mixta	30	30	80-100
Nabo	Directa	20	20	60

Perejil	Directa	20	20	60
Porro	Almácigo	30	20	100
Zanahoria	directa	20	20	100
Zapallo	Directa	100	100	140-180

Cuadro 20 Hortalizas para todo el año

Cultivo	Tipo de siembra	Distanciamiento (cm.)		Cosecha (días)
		Hileras	Plantas	
Acelga	Mixta	30	20	60
Betarraga	Mixta	20	10	60
Cebolla	Mixta	20	20	100-120
Hierbabuena	Directa	30	30	60
Hierbaluisa	Directa	50	50	60
Huacatay	Mixta	20	20	40
Maíz choclo	Directa	50	50	80-100
Menta	Directa	30	30	60
Orégano	Directa	30	30	60
Rabanito	Directa	10	5	20-30
Tomate	Mixta	50	50	80-100
Vainita	Directa	30	30	60
Zapallito	Directa	40	40	45

6.8 Abono del biohuerto

Los suelos agrícolas son un conjunto de tierra, aire, agua, materia orgánica y seres vivientes que tienen como funciones principales darle soporte a la planta, proveerla de los nutrientes esenciales para su desarrollo y almacenar la humedad.

Al crecer las plantas extraen nutrientes del suelo y si éstos no son devueltos, al cabo de algún tiempo la producción irá disminuyendo. Los minerales que las plantas necesitan en mayor cantidad son el nitrógeno, el fósforo y el potasio.

De éstos el nitrógeno es el nutriente que mayormente se requiere en el suelo. Los requerimientos minerales son diferentes según el tipo de hortaliza que se esté cultivando pero en biohuertos pequeños la incorporación constante de alguna fuente de materia orgánica será suficiente para proveer a los cultivos de los nutrientes esenciales para su crecimiento y desarrollo.

Las principales fuentes de materia orgánica que se pueden usar en el biohuerto son: estiércol, biosol extraído del biodigestor y secado por unas semanas, humus de lombriz y compost.

6.9 Sustratos usados en el biohuerto

El sustrato es el medio de soporte físico que permite un buen desarrollo del sistema radicular de las plantas. Puede ser de origen natural o sintético, orgánico o inerte y puede usarse solo o en mezcla, de acuerdo a los requerimientos de cada tipo de planta, labor de propagación a realizar (almacigado, repique, embolsado, etc.) y tipo de contenedor a usar en cuanto a material (plástico, papel, cartón, arcilla, madera, fierro, concreto, etc.) y volumen (bandejas, macetas, jardineras, etc.). No existe un sustrato ideal porque su utilidad y eficiencia dependerán de los requerimientos de las especie a propagar, las condiciones ambientales y los materiales y recursos disponibles.

El objetivo de la utilización de un sustrato es obtener plantas de calidad, con los menores costos y tiempo posibles.

Cuando no existen jardines o áreas que puedan cultivarse, los sustratos permiten cultivar algunas hortalizas en recipientes, ganando espacios sub utilizados como patios, azoteas, corredores, etc.

Un buen sustrato puede reunir las siguientes características:

Propiedades físicas:

- Función de soporte: firme y denso para mantener as “semillas” (botánica o vegetativa) en su lugar.
- Elevada porosidad: para permitir un adecuado drenaje y oxigenación.
- Baja densidad aparente.
- Textura fina (para semilla botánica).
- Estructura estable: debe mantener su volumen; no encogerse demasiado a secarse (suelo de jardín) ni “hincharse” demasiado al humedecerse.

- Retentivo (elevada capacidad de retención a agua disponible); para mantener una humedad constante durante toda la etapa de propagación (de una buena humedad depende la germinación y el enrasamiento) y para no tener que ser regado con mucha frecuencia.
- “Limpio” para evitar problemas sanitarios (hongos, nemátodos, bacterias, gusanos de tierra, etc.) o presencia de sustancias tóxicas para las plantas (especialmente en el caso de sustratos obtenidos a partir de residuos).

Propiedades químicas

- Que se puedan esterilizar, sin sufrir transformaciones o cambios que puedan afectar el material de propagación (precipitados, liberación de compuestos tóxicos, etc.).
- No contener exceso de sales (muerte de plántulas).
- Elevado contenido de materia orgánica (semilla botánica).
- Mínima velocidad de descomposición.
- Moderada a elevada capacidad de intercambio catiónico.

Otras características

- Fácil disponibilidad
- Bajo costo
- Fácil de preparar y de manejar
- Resistencia a cambios extremos físicos, químicos y ambientales

Sustratos más comunes en el Perú:

Tierra de chacra: Es el material más abundante y su descomposición es muy variable dependiendo de su textura (proporción de arcilla, arena y limo), estructura (formas en que se arreglan las partículas del suelo) y fertilidad (CIC y porcentaje de materia orgánica).

Mayormente se usa en mezcla con otros materiales para completar el volumen deseado. Deben preferirse “tierras” que no contengan demasiado limo (dificulta el drenaje, se encoge y cuartea al secarse) y que presenten buena agregación (estructura granular,

buen contenido de materia orgánica). Es un material que se debe desinfectar para evitar problemas sanitarios.

En recipientes siempre se debe usar poca proporción, mejorando su textura con musgo o compost.

Cuando se usa sólo tierra de chacra, con el tiempo ésta se compacta, haciendo más lento el crecimiento de las plantas y formando una capa gruesa y dura en la superficie, dificultando la filtración del agua.

Arena: También es un material abundante y se usa la arena de río lavada por su menor contenido de sales. Su principal característica es su porosidad, debido al mayor tamaño de sus partículas. Es un material inerte, que no contiene coloides lo que sumado a su porosidad le da poca capacidad de retener agua.

Se usa preferentemente en mezcla, para agregar porosidad, pero se debe tener cuidado de que al aumentar el peso se dificulta el traslado o movimientos de los recipientes.

Musgo - turba: Es un material orgánico conformado por restos de plantas en estado parcial de descomposición que abunda en forma natural en humedales de zonas frías de climas templados, como en algunas zonas alto andinas, donde por efecto de las bajas temperaturas, alta precipitación, poco drenaje y falta de oxígeno, la vegetación natural sufre un proceso de descomposición muy lento. La vegetación puede ser diversa pero el género más abundante es el *Sphagnum*.

El musgo es un recurso natural de muy lenta regeneración por lo que el Ministerio de Agricultura, regula su extracción, aunque los controles son todavía insuficientes. En todo el mundo preocupa que la demanda provoque su agotamiento, por lo que en algunos países (España por ejemplo) se invierte en la investigación de sustratos alternativos.

Compost: Se obtiene por descomposición aeróbica o anaeróbica, dependiendo de la tecnología que se utilice en función del área disponible y del tiempo que la familia puede dedicarle al cuidado, la materia prima para la producción de compost son restos orgánicos vegetales de fácil descomposición tales como: hojas, tallos, rastrojos de un campo de cultivo todo ello mezclado con estiércol y una variedad de residuos orgánicos de origen doméstico, de mercados, restaurantes, hoteles entre otros, como también los

residuos ganaderos, entre ellos el de los cerdos. Su composición es muy variable dependiendo del tipo de materiales usados en su elaboración.

Un compost rápido se obtiene a partir de hojas y estiércol (a veces urea en su reemplazo) pero será muy pobre debido a la poca cantidad de nutrientes y humus que se obtienen. A este tipo de compost también se le conoce en los viveros como “tierra vegetal” y se usa sobre todo para llenado de bolsas y macetas. Un mayor contenido de nutrientes y humus se obtendrán cuando se incorporen materiales fibrosos que contengan gran contenido de lignina (rastrojo de menestras y cereales). Este compost será de gran utilidad para mejorar la calidad de un suelo.

Se usa en mezclas para macetas, como abono de fondo en la instalación de jardines, en siembra de árboles en campo definitivo y en almácigos mezclados con tierra y/o arena. Debe almacenarse siempre húmedo y bajo sombra.

El mejor compost siempre será el que se elabore en la propia granja o chacra porque su calidad puede ser controlada, el costo será menor y además favorece el reciclaje de nutrientes.

Humus de lombriz: Es un compost más elaborado ya que la materia orgánica parcialmente descompuesta pasa por el aparato digestivo de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) para obtener un material más descompuesto y de mayor agregación. Una de sus principales ventajas es la gran cantidad de bacterias que contiene (2 billones de colonias/g de humus de lombriz). Tiene un alto contenido de ácidos fúlvicos y húmicos que favorecen la asimilación de nutrientes por las plantas.

Es liviano, absorbe bien la humedad y cuando se usa en mezcla mejora la estructura del suelo y favorece la aireación y permeabilidad. Se usa igual que el compost y también para siembra de semillas en almácigos en bandeja debido a su poco peso y gran poder de retención de agua.

La producción de humus de lombriz supone toda la infraestructura de una crianza: lechos para lombrices, agua disponible, preparación de alimentos, aunque las exigencias de las lombrices son mínimas y tienen un alto grado de reproducción.

Estiércol: Es una fuente de materia orgánica que debe estar descompuesto antes de utilizarse porque de lo contrario al humedecerse se alcalina demasiado elevando la temperatura del medio lo que puede causar la muerte de las plántulas. Se usa en mezclas para camas de enraizamiento de estacas frutales y forestales, debido a su poco peso,

gran volumen y para darle una mayor temperatura al sustrato. Puede tener alto contenido de sales (vacunos, aves) por lo que debe humedecerse previamente para lavar sales.

En recipientes se debe usar en baja proporción, es mejor usarlo como insumo para compost o tierra vegetal.

Tierra preparada: Es la tierra de chacra mejorada con la adición de compost y algo de musgo, en proporciones variables, de acuerdo al uso. Es muy utilizada para jardinería, llenado de bolsas en vivero y macetas. Tiene menor peso que la tierra de chacra y una mayor fertilidad (física, química y biológica).

6.10 Valor nutritivo de las hortalizas

A continuación se presenta el cuadro 21, donde se aprecia el valor nutritivo de las diversas hortalizas que se pueden producir en el biohuerto.

Cuadro 21 Principales hortalizas como fuente de nutrientes

Nutrientes	Hortalizas
Carbohidratos	<ul style="list-style-type: none"> • Camote • Frijol • Papa • Yuca
Aceites	<ul style="list-style-type: none"> • Semillas de leguminosas • Semillas maduras de (cucurbitáceas, ajonjolí, etc.)
Proteínas y aminoácidos	<ul style="list-style-type: none"> • Arveja, frijol y otras leguminosas. • Choclo • Hortalizas de hoja, especialmente crucíferas.
Vitamina A (beta – caroteno)	<ul style="list-style-type: none"> • Brócoli y otras crucíferas • Camote • Espárrago • Espinaca y otras hojas verdes • Hortalizas amarillas y anaranjadas • Pimiento y ají • Poro • Tomate • Vainita

	<ul style="list-style-type: none"> • Zanahoria • Zapallo
Vitamina B1(tiamina)	<ul style="list-style-type: none"> • Arveja y pallar verde • Betarraga • Coliflor • Choclo • Espinaca • papa
Vitamina B2 (riboflavina) y niacina	<ul style="list-style-type: none"> • brócoli • Espinaca • Hojas de nabo y betarraga • Hortalizas de hoja • Leguminosas • Zanahoria
Vitamina C (ácido ascórbico)	<ul style="list-style-type: none"> • Col, coliflor y brócoli • Espárrago • Espinaca • Frijol chino y otros germinados • Hojas verdes • Melón • Nabo • Pimiento y ají • Tomate • Vainita
Vitamina E (tocoferol)	<ul style="list-style-type: none"> • Aceites vegetales • Semillas y nueces
Vitamina K	<ul style="list-style-type: none"> • Choclo • Hortalizas de hoja • Poro
Calcio	<ul style="list-style-type: none"> • Acelga • Ajonjolí • Col • Hojas verdes • Zanahoria
Fierro	<ul style="list-style-type: none"> • Espinaca • Hojas de betarraga • Hojas verdes • Leguminosas • Perejil
Fósforo	<ul style="list-style-type: none"> • Brócoli • Frijol y otras leguminosas • Maíz

7. CONCLUSIONES

- Se ha elaborado un esquema que ha permitido visualizar con facilidad la situación de los porcicultores del Parque Porcino de Ventanilla.
- El trabajo realizado permite concluir que la mejora de las granjas es un tema clave para empezar cualquier programa de construcción de biodigestores, tanto en el parque Porcino de Ventanilla como en cualquier otro lugar de crianza de cerdos, donde las granjas cuenten con instalaciones precarias. La construcción de un buen piso en los corrales es fundamental para lograr una buena recolección de las excretas con la calidad suficiente para ser ingresadas al biodigestor.
- El estudio realizado ha permitido constatar que no existía un sistema de gestión ambiental, lo cual presenta necesidades apremiantes para el desarrollo de la actividad de crianza sanitaria de cerdos en esta zona. Sin embargo, los granjeros realizan la venta de residuos reaprovechables y reciclables, lo que constituye un aspecto relevante y de revalorización de los residuos.
- La documentación del sistema de gestión medioambiental se ve reflejada en la redacción del manual que se elaboró y se difundió entre los granjeros, donde se indica la manera de llevar a cabo la implantación y mantenimiento del sistema, a su vez busca que el sistema sea entendido y operado de manera eficaz y eficiente. Para lo cual se han desarrollado documentos que incluyen procedimientos e instructivos de trabajo, para ciertas actividades y tareas específicas, que el personal debe realizar, todo esto con la finalidad de conseguir que el granjero sepa cómo actuar ante ciertas circunstancias o actividades que pongan en riesgo un buen desempeño ambiental en la granja.
- A partir de los resultados de la línea base se han propuesto técnicas de manejo de cerdos con la finalidad de uniformizar la producción porcina en cuanto a sanidad, alimentación, mejoramiento genético, control de registros, etc. También se ha apoyado la formulación de registros para el control de ventas, compras y gastos por alimentación.

- Todos estos planes se están integrando poco a poco en la crianza de cerdos, ya que no es fácil para los porcicultores de Ventanilla adaptarse a nuevas formas de trabajo, por eso se van realizando progresos lentamente a través de demostraciones que van convenciendo a los propios porcicultores de la bondad de los nuevos procedimientos.
- Debido a los progresos en su gestión han comprobado la conveniencia de asociarse para mejorar sus ingresos pues han constatado por los resultados de sus registros que tienen que disminuir los costos de alimentación y sanitarios, además de vender en mayor cantidad para obtener mayores ganancias.
- En consecuencia, no se ha creído conveniente entregar un plan de manejo real de los cerdos impuesto desde arriba, sino que los propios beneficiarios han iniciado el cambio paulatino de sus actividades, es necesaria una tarea de seguimiento por algún tiempo para verificar que se están alcanzando los objetivos trazados.
- Se han elaborado tres manuales: uno de construcción, operación y mantenimiento de biodigestores, otro de construcción, operación y mantenimiento de humedales y, por último, de construcción, operación y mantenimiento de biohuertos y áreas productivas. Todos los manuales fueron elaborados en base a la experiencia desarrollada y con fotos y explicaciones gráficas de todo el proceso adaptadas a los potenciales usuarios.
- Los beneficios en el uso del biogás para realizar la cocción de los alimentos en prioridad de la familia y luego de los cerdos, así como la instalación de calefacción para los gorrinos, ha convencido a los granjeros del correcto cuidado de los biodigestores.
- El ahorro promedio por mes y por familia obtenido por el uso del biogás se cifra en 64 nuevos soles, lo que sube a 768 soles al año (aproximadamente 192 euros), si a esto se añade el ahorro por disminución del índice de mortalidad de los animales, se estima un promedio de ahorro al año de 2480 nuevos soles, equivalente a 620 euros, para una granja de unos 30 cerdos.

- El uso de los subproductos de los biodigestores, como el biol, el biosol, el compost y el del agua tratada en los humedales artificiales ha permitido que en los dos años de puesta en marcha de los huertos familiares e implementación de áreas productivas, el paisaje de estos lugares que antes aparecían completamente desolados, se muestren como manchas de verdor y su producción de alimentos está contribuyendo a mejorar la dieta alimentaria familiar, la alimentación de los cerdos y, evidentemente, la economía familiar, pero además se ha de destacar que ha mejorado la valoración del área y la autoestima de los propios habitantes.
- Se ha implantado un sistema de seguimiento mensual, que ha quedado a cargo de uno de los propios porcicultores, por lo que se ha elaborado un impreso fácil de llenar durante las visitas que realiza a cada granja. Los impresos se envían por correo electrónico a la ONG Ciudad Saludable, donde se recoge y trata la información.

8. BIBLIOGRAFIA

- Acosta S.L 2000. “Diagnóstico ambiental de la zona agropecuaria del distrito de Villa El Salvador” Trabajo de investigación para optar el título de Ing. Agrícola. UNALM. Lima-Perú-
- Alarcón, A.; Kolb, P.; Marull, J. (1997) Recuperación medioambiental del tramo final del río Besós. *Bio* 10:7-11.
- Álvarez C. T. 1998 “Estudio sociológico de los criadores del Parque Porcino de Ventanilla” Tesis para optar el título de Sociólogo. UNALM. Lima- Perú-
- Ansola, G.; De Luis, E. (1994) Concentración de nutrientes en helófitos acuáticos utilizados en depuración de agua residual. *Limnetica*. 10 (1): 33-36.
- Ansola, G.; Fernández, C.; De Luis, E. (1995) Removal of organic matter and nutrients from urban wastewater by using an experimental emergent aquatic macrophyte system. *Ecological Engineering*. 5:13-19.
- Becerra de la Flor, J. 1977 (reimpresión). Generalidades en el cultivo de Hortalizas. UNALM, Programa de Hortalizas, Lima.
- Bonmatí A., Flotats X. (2003). Air stripping of ammonia from pig slurry: characterisation and feasibility as a pre- or post-treatment to mesophilic anaerobic digestion. *Waste Manage*. 23:261-272.
- Bonmatí, A., Campos, E., Flotats, X. (2003). Concentration of pig slurry by evaporation: anaerobic digestion as the key process. *Water Sci. Technol*. 48(4): 189-194.
- Botero, R., Preston, T.R. Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excreta - Manual para su instalación, operación y utilización. 1987
- Brix, H. (1994). The Role of Wetlands for the Control of Pollution in Rural Areas. Design and Use of Constructed Wetlands. Curso CIHEAM-IAWQ. Zaragoza.
- Brix, H. (1997) Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? *Water Science and Technology*. 35(5): 11-17.
- Burton C.H., Turner C. (2003). Manure Management: Treatment Strategies for Sustainable Agriculture. Silsoe Research Institute. Bedford (UK).
- BVSDE. 2005. Manejo de residuos sólidos domésticos. En <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsars/e/acerca.html>. (03/08/08).
- Caldevilla, C.; Cox, L. (2007) Diseño, montaje y puesta en marcha de la planta piloto de un humedal de flujo subsuperficial. Proyecto Final de Carrera. Universidad Politécnica de Catalunya. 26 de Junio de 2007. Barcelona
- Campos, A.E.. Optimización de la digestión anaerobia de purines de cerdo mediante codigestión con residuos orgánicos de la industria agroalimentaria. 2001. Universidad de Lleida.
- Campos, E., (2001). Optimización de la digestión anaerobia de purines de cerdo mediante codigestión con residuos orgánicos de la industria agroalimentaria. Doctoral Thesis. University of Lleida, Lleida, Spain.

- Castillo, A. 2008. Generación de residuos sólidos por persona se incrementa a 0,71 kg/día. Periódico El Comercio. Lima-Perú. En <http://www.elcomercio.com.pe/edicionimpresa/Html/2008-01-14/generacion-residuos-solidos-persona-incrementa-071-kgdia.html>. (03/08/08).
- Ciudad Saludable / Fundación Codespa. (2007) Mejora de las condiciones de vida de las familias porcicultoras del Parque Porcino de Ventanilla, mediante la implementación de un sistema piloto de biodigestión, Lima, Perú.
- Ciudad saludable. 2007. Mejora de las condiciones de vida de las familias porcicultoras del Parque Porcino de Ventanilla, mediante la implementación de un sistema piloto de biodigestión. Informe a Codespa y Roviralta. Lima-Perú.
- CONAM. 2000. Generación creciente de residuos sólidos y restricciones para su manejo. En <http://www.conam.gob.pe/geo/ii31e.htm>. (03/08/08).
- Darcy, H. (1856) Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon. Dalmont. Paris.
- Domínguez A. 1997. Tratado de Fertilización. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 613p.
- Fannin, P. Monitoreo y control del proceso de biodigestión. 1987
- FAO. 2005 “Agricultura urbana: La agricultura urbana impulsa la seguridad alimentaria” <http://www.fao.org/>
- Felipe-Morales, C.; Moreno, U. Primer curso de biodigestión. Bioagricultura Casa Blanca. 2004. Lima-Perú.
- Fernández, A. Sánchez, M. 2007. Guía para la gestión integral de los residuos sólidos urbanos. En http://www.unido.org/fileadmin/import/72852_Gua_Gestin_Integral_de_RSU.pdf. (18/07/08).
- Fichas de seguridad química. 2005. Fichas internacionales de seguridad química. En <http://www.mtas.es/insht/ipcsnspn/Introducci.htm>. (12/11/05).
- Findlay, G.E. (1997) El proceso de CBR y lechos de juncos de Severn Trent. Curso de Aplicación de Tecnologías Blandas a la depuración de aguas residuales. Proyecto Agua. EGEVASA. Valencia.
- Flotats, X., Angelidaki, R.I., Ahring, B. K. (2003). Parameter identification of thermophilic anaerobic degradation of valerate. Applied Biochemistry and Biotechnology, 109(1-3) pp 47-62.
- Flotats, X., Campos, E. (2005). Procesos biológicos: digestión anaerobia y compostaje, Cap. 9. In Elías X. Ed., Tratamiento y valorización energética de residuos. Díaz de Santos Ed, Barcelona. ISBN: 84-7978-694-9. Pp 617-686.
- Flotats, X., Gibert, V. (2002). Mas el Cros biogas plant. Evaluation of 18 years in operation. In: S. Kalyuzhnyi (Ed.). Proceedings of the 7th FAO/SREN workshop on "Anaerobic digestion for sustainability in waste (water) treatment and re-use". Moscow State University. Vol. 1, pp 172-180.
- Flotats, X., Palatsi, J., Ahring, B.K., Angelidaki, I. (2006). Identifiability study of the proteins degradation model, based on ADM1, using simultaneous batch experiments. Water Science and Technology, 54(4), pp 31-39.

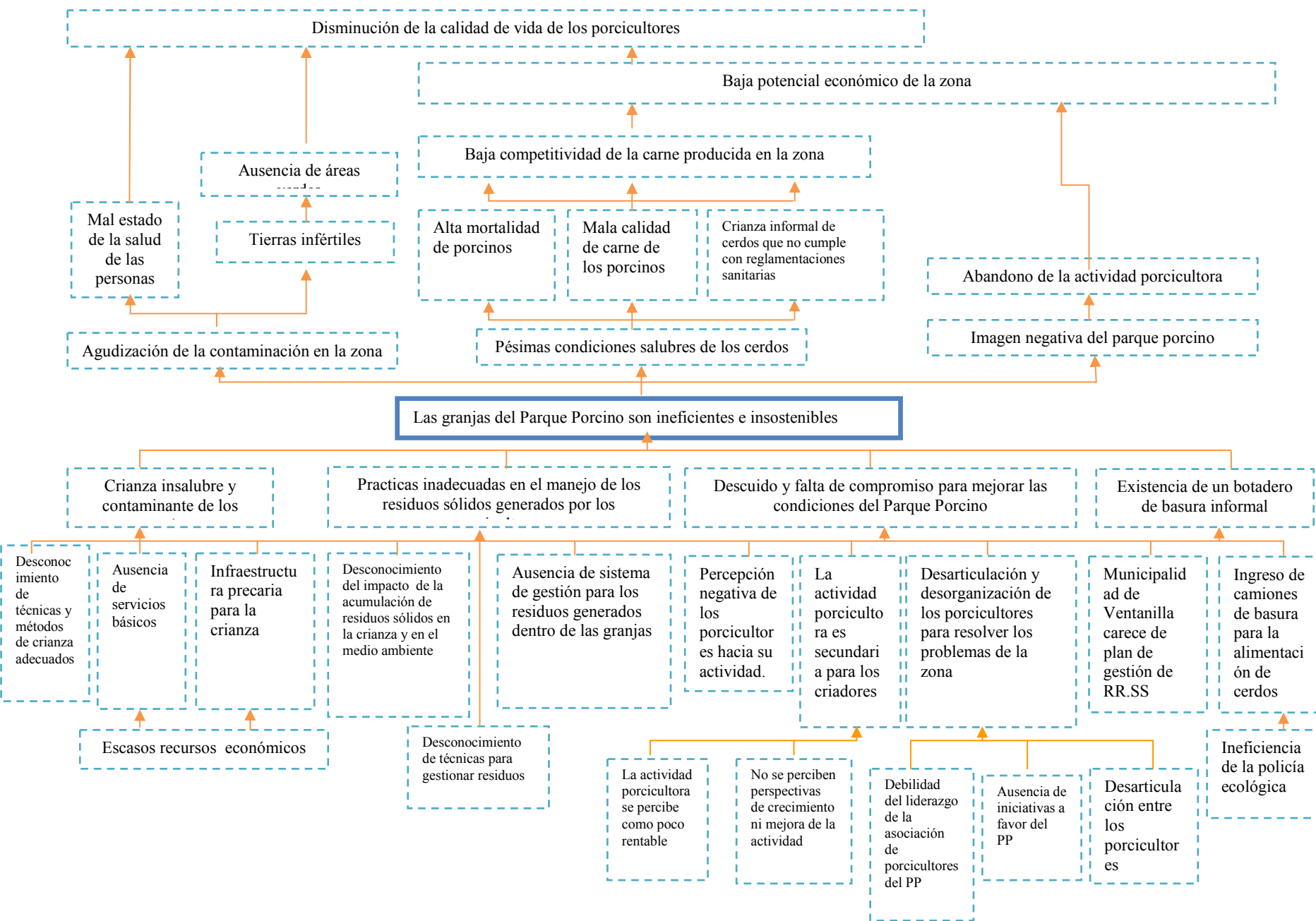
- Flotats, X.; Bonmatí, A.; Seró, M.. Clasificación de tecnologías de digestión anaerobia. Aplicación en el aprovechamiento energético de residuos ganaderos. 3er Curso de Ingeniería Ambiental. 1997. Lleida.
- Galindo Y Rincón-Pava Y Valderrama, Tecnologías de gasificación. 2003
- García, J.; Corzo, A. (2006) Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial. Barcelona, marzo de 2006
- Giaconi V.1990. Cultivo de Hortalizas. Editorial Universitaria, Santiago de Chile.304p.
- GTZ, Información y servicio consultivo en tecnología apropiada. proyecto GTZ. (www5.gtz.de/gate/id/Download.afp?pubname=../publications/biogasdigestVoll.pdf)
- Guerrero J.1993. Abonos Orgánicos. Tecnología para el manejo ecológico de suelos. Red de Acción de Alternativas al uso de Agroquímicos, Lima.
- Guerrero, C. A., Pérez, A. Evaluación del uso de calentadores de lechones operados con biogás y de bajo costo en la producción porcina. Guácimo, Universidad EARTH, 2001.
- Hansen, K., Angelidaki, I., Ahring, B.K. (1998). Anaerobic digestion of swine manure: inhibition by ammonia. Water Research. Vol 32 (1), pág. 5-12.
- Hartmann, H. (2003). Anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste with recirculation of process water. PhD Thesis. BioCentrum-DTU. Technical University of Denmark.
- Hartmann, H. And B.K. Ahring, (2006). Strategies for the anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste – An overview. Water Science and Technology 53(8), 7-22.
- Henze y otros. Tratamiento de aguas residuales. Procesos biológicos y químicos. Segunda Edición. Springer. 1997.
- Hunt, D. y Johnson, C. 1996. Sistemas de gestión medioambiental. Desarrollo y aplicación de un sistema de gestión medioambiental. McGraw-Hill, Madrid-España S.A.U.
- ITRC: “Interstate Technology & Regulatory Council”. (2003) Technical and Regulatory Guidance Document for Constructed Treatment Wetlands. www.itrcweb.org. Diciembre 2003
- Jarauta, L. Guía de aplicación de la digestión anaerobia como tratamiento de corrientes residuales orgánicas. Recopilación de autores. Universidad Politécnica de Cataluña
- John Brady & William Garber, Manipulación y digestión de fangos
- José Antonio De Las Heras Ramos, producción y utilización del gas de digestión.
- Kadlec, R.H.; Knight, R. (2005) Treatment Wetlands. CRC Press. Florida.
- Kossmann, W. [et al.] Biogas Digest. Volume 2: Biogas – Application and Product Development. Eschborn, GTZ, (s.d.)

- Labrador, J. 2001. La materia orgánica en los agrosistema. El compost. Ediciones Muni-prensa, España.
- Lahora, A. (2005) Los humedales artificiales como tratamiento terciario de bajo coste en la depuración de aguas residuales urbanas. Encuentro medioambiental almeriense: En busca de soluciones. Almería.
- Lucia Sobrados Bermados, Digestión anaerobia de Fangos.
- Lüderitz, V., Gerlach, F. (2002) Phosphorus Removal in Different Constructed Wetlands. Acta Biotechnol. 22 1-2, 91-99.
- Martí Herrero, J. Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación. Bolivia, GTZ-Energía, 2008
- Mata, J. Digestión anaerobia de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos. 3er Curso de Ingeniería Ambiental. 1997. Lleida.
- Mata-Alvarez, J., (2003). Fundamentals of the anaerobic digestion process. In: Mata-Alvarez, J. (Ed.), Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes. IWA Publishing Press, Cornwall, UK, pp. 1-20.
- Miglio, R. (2005) Humedales artificiales – documentación de experiencias existentes en el Perú. Organización Panamericana de la Salud, representación en Perú. Contrato de Servicios: PE/CNT/0700042.001.
- MONET, F. Una introducción a la digestión anaerobia y residuos orgánicos. (www.remade.org.uk/organics/organics_documents/introanaerobicdigestion.pdf)
- Mulder A. (2003). The quest for sustainable nitrogen removal technologies. Water Sci. Technol. 48:67-75.
- Pérez, R. 2008. Residuos sólidos urbanos. En <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia31/HTML/articulo04.htm>. (21/07/08).
- Periódico El Peruano. Ley 28611. Ley de Medio Ambiente, de gestión ambiental, Art. 13 y Art. 17, Lima Perú.
- Poggio, D. Diseño y construcción de dos digestores anaeróbicos en el altiplano peruano – Manual de construcción del digestor tubular de plástico. Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, 2007
- Ruiz Albina y otros, Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipales
- Sasse, L. Biogas Plants, Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien (GTZ), 1988
- Sasse, L; Kellner, C & Kimaro, A. Unidad mejorada de biogás para los países en vías de desarrollo. (www5.gtz.de/gate/id/Download.afp?pubname=../publications/G33IMe.pdf)
- Tchobanoglous, G.; Theisen, H. y Vigil. S. 1998. Gestión integral de residuos sólidos. McGraw-Hill. México.
- Teira-Esmatges, M.R., Flotats, X. (2003). A method for livestock waste management planning in NE Spain. Waste Management. 23(10): 917-932

- Ugás R. 1992. Manual de Prácticas de Olericultura General. Departamento de Horticultura, UNALM, Lima. Separatas.
- Unalm y Arc. 2005. Estudio a nivel de perfil del programa de desarrollo integral del parque porcino ventanilla – callao. Informe. Modulo I. Lima-Perú.
- Vavilin, V.A., Fernández, B., Palatsi, J., Flotats, X. (2007). Hydrolysis kinetics in anaerobic degradation of particulate organic material: an overview. Waste Management (revision process, enero 2007).
- Vigliola M., ed.1998. Manual de horticultura. Editorial Hemisferio Sur, Buenos Aires.
- Vincent, T. Digestión anaerobia, bases cinéticas y microbiológicas.1997. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Werner, U., Stöhr, U., Hees, N. Biogas plants in animal husbandry. Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien (GTZ), 1989
- Werner, U; Stohr, U; Hees, N. Plantas de biogás en la agricultura animal. GTZ, GMBH. 1989.
- Woodside, G. y Aurrichio, P. 2001. Auditorías de sistemas de gestión medioambiental, Introducción a la norma ISO 14001. McGraw-Hill. Madrid, España S.A.U.

ANEXOS

Anexo 1: Árbol de Problemas



Anexo 2: Fotografías de Monitoreo



Biodigestor operando



Granjas mejoradas y limpias



Utilización del Gas en la Cocina



Siembra de Papaya y camote



Siembra de plátanos



Siembra de Yuca



Centro de acopio de residuos en funcionamiento



Humedales artificiales operando



Tanque para la mezcla de excretas con agua y orines e ingreso al biodigestor, en buen estado de mantenimiento.

Anexo 3

CONTROL DEL BIODIGESTOR

GRANJA DE: _____

FECHA: _____

Componentes	Descripción		Buena	Aceptable	Mala	Observación
Invernadero	madera	Estructura				
		Material				
	arpilleria	Estructura				
		Material				
Biodigestor	manga	Estado				
		Producción				
	tubos	Entrada				
		Salida				
	cámara	Estado				
		Amarre				
Tanques	mezcladora	Estructura				
		Compuertas				
		Guía				
		Tapa				
	biol	Estructura				
		altura del biol				
depósito de gas	invernadero	Estructura				
		Pared				
		Techo				
		Puerta				
		soporte del peso				
	repisa	Estructura				
		Protección				
	bolsa de gas					
	sistema de compresión					
		sujetador				
	altura de agua					
sistema de conducción	válvula de seguridad	depósito de agua				
		sujetador				
		altura de agua				
	filtro	Estructura				
		Sujetador				
		viruta de hierro				
	Llaves					
	Uniones					
	Cámara					
	Manguera					
atrapa llama						
Cocina	Estado					
	Funcionamiento					

Responsable:

CONTROL DEL HUMEDAL

GRANJA DE: _____

FECHA: -----

		BUENA	ACEPTABLE	MALA	OBSERVACION
HUMEDAL	ESTRUCTURA				
	PIEDRA				
	TUBO RESPIRADERO				
	TOTORA (HELOFITO)				
	CONDUCCION DE AGUA				
LIMPIEZA					
TANQUES	SEPARADOR DE GRASA	ESTRUCTURA			
		TAPA			
		SISTEMA DE CONDUCCION			
		LIMPIEZA DE GRASA			
	RECOLETOR	ESTRUCTURA			
		TAPA			
		SISTEMA DE CONDUCCION			
	LIMPIEZA				
PROTECTOR DEL HUMEDAL	ESTADO				
	MANEJO				

RESPONSABLE: -----

Otros:

- Notas importantes de Monitoreo:

- Recomendaciones para cada Granja según lo evaluado: