

Serie de Publicaciones de EcoSanRes



Reporte 2004-2

Lineamientos para el Uso de la Orina y Heces en la Producción de Cultivos

Håkan Jönsson, Anna Richert Stintzing
Björn Vinnerås, Eva Salomon



Lineamientos para el Uso de la Orina y de las Heces en la Producción de Cultivos

Håkan Jönsson Universidad de Ciencias Agrícolas de Suecia – SLU

Anna Richert Stintzing VERNA Ecology, Inc

Björn Vinnerås Universidad de Ciencias Agrícolas de Suecia – SLU

Eva Salomon Instituto Sueco de Ingeniería Agrícola y Ambiental
(JTI)



Programa EcoSanRes
Instituto Ambiental de Estocolmo
Lilla Nygatan 1
Box 2142
SE-103 14 Estocolmo, Suecia
Telf.: +46 8 412 1400
Fax: +46 8 723 0348
postmaster@sei.se
www.sei.se

Esta publicación puede ser descargada de
www.ecosanres.org

SEI Comunicaciones
Director de Comunicación: Arno Rosemarin
Director de Publicaciones: Erik Willis
Diseño: Lisetta Tripodi
Acceso Web: Howard Cambridge
Traducción: Jenny Aragundy, ECOSANLAC

*Derechos de autor 2004
del Programa EcoSanRes
y del Instituto Ambiental de Estocolmo*

Esta publicación puede ser reproducida total o parcialmente en cualquier medio educativo o sin fines comerciales, sin requerimiento de autorización especial de los autores, siempre y cuando se cite la fuente. No se permite el uso de esta publicación para la venta u otro fin comercial, sin el consentimiento escrito de los autores.

ISBN 91 88714 94 2

Contenido

Prefacio	v
Resumen de los Lineamientos	1
Requisitos para el Crecimiento de las Plantas	2
Macronutrientes	2
Micronutrientes	3
Respuesta de la cosecha y uso de los recursos	3
Nutrientes en la Excreta	5
Balance de masas de los nutrientes	5
Contenido de macronutrientes en la excreta	5
Contenido de metales pesados y sustancias tóxicas en la excreta	8
Composición de los nutrientes en la orina y disponibilidad para las plantas	9
Composición de los nutrientes en las heces y disponibilidad para las plantas	10
Tratamiento higiénico de la orina y las heces – efectos en los nutrientes de las plantas	11
Tratamientos primario y secundario	11
Tratamiento Primario	12
Orina	12
Heces – deshidratación usando aditivos	13
Tratamiento Secundario	13
Orina	13
Heces	14
Heces – incineración	14
Heces – compostaje	14
Heces – almacenamiento	16
Heces – digestión	16
Heces – higienización química	17
Recomendaciones para el Uso de la Orina y las Heces en los Cultivos	17
Orina	18
Consideraciones generales	18
Efecto fertilizador de la orina	18
Dilución	19
Tiempo de aplicación	19
Almacenamiento en el suelo	21
Técnicas de aplicación	21
Dosis de aplicación	22
Experiencias	22
Heces	26
Consideraciones generales	26
Efecto fertilizador	26
Tiempo de aplicación	28
Técnicas de aplicación	29
Dosis de aplicación	30
Experiencias	32
Recomendaciones finales	34
Excreta, recomendaciones generales	34

Orina	34
Heces	35
Vacíos en el conocimiento	35
Adaptación de estos lineamientos a las condiciones locales	35
Referencias	36

Figuras y Tablas

Figura 1.	Los factores limitantes que regulan el crecimiento de las plantas	2
Figura 2.	El efecto en la producción de cultivos de incrementar las tasas de aplicación del N disponible	4
Figura 3.	Tamaño de las raíces de los cultivos de hortalizas	20
Figura 4.	Aplicación de orina a las hortalizas	21
Figura 5.	Bayas y rosas fertilizadas con orina	23
Figura 6.	Distribución de la orina antes de sembrar la cebada	24
Figura 7.	Ensayos de campo usando orina como fertilizante en puerros	25
Figura 8.	Espinacas fertilizadas y sin fertilizar	26
Figura 9.	Árbol de mango fertilizado con heces	30
Figura 10.	Cebollas fertilizadas y sin fertilizar	32
Figura 11.	Árboles frutales creciendo en pozos de Arbor Loo en Malawi	34
Tabla 1.	Nuevos valores propuestos para la masa y nutrientes excretados en Suecia	6
Tabla 2.	Suministro de alimentos (equivalente primario de las cosechas) en diferentes países en el 2000	6
Tabla 3.	Excreción de nutrientes estimada por persona en diversos países	7
Tabla 4.	Concentraciones de metales pesados en la orina, en las heces, en la mezcla orina+heces y en los residuos de cocina separados en la fuente, comparados con el estiércol de aves de corral	8
Tabla 5.	Análisis del humus compostado derivado del suelo del pozo de una Fosa Alterna y del humus del Skyloo comparados con un promedio de diversas capas vegetales	16
Tabla 6.	Cantidades de N, P y K (Kg/ha) removidas por tonelada de fracción comestible cosechada para los diferentes cultivos	17
Tabla 7.	Resultados de los experimentos de campo usando orina humana como fertilizante para puerros	25
Tabla 8.	Producción promedio (gramos de peso fresco) en ensayos en hortalizas fertilizadas con orina en Zimbabwe	26
Tabla 9.	Producción promedio (gramos de peso fresco) en ensayos de plantas comparando el crecimiento únicamente en la capa vegetal, con el crecimiento en una mezcla de 50% de capa vegetal y 50% de composta de Fosa Alterna.	32

Prefacio

Estos lineamientos están basados en nuestro conocimiento actual del uso de la orina y de las heces en cultivos de pequeña y gran escala. Hasta el momento, el uso de la orina y de las heces es limitado en todo el mundo. Por lo tanto, estos lineamientos se fundamentan no solamente en nuestras experiencias y las experiencias de otros como está documentado en las revistas científicas, sino también en gran parte de las experiencias con tipos similares de fertilizantes, por ejemplo, composta y lodos procedentes de la digestión de los residuos sólidos biodegradables. Experiencias adquiridas en muchos experimentos oportunos y motivadores alrededor del mundo, aunque no científicamente publicadas y analizadas, también dan a conocer estos lineamientos.

Deseamos subrayar los muchos experimentos ambiciosos y bien ejecutados por Peter Morgan, Aquamor, Zimbabwe. Damos las gracias a Peter no sólo por compartir los resultados de estos experimentos, sino también por colaborar con este texto y nuestro análisis y por facilitarnos algunas de sus imágenes. Adicionalmente, estamos muy agradecidos por nuestras fructíferas discusiones (especialmente vía correo electrónico) en las cuales el ha compartido algunos de los conocimientos que ha adquirido en sus actividades de investigación y desarrollo del saneamiento ecológico

De igual manera damos las gracias a todos los expertos que participaron en nuestro grupo de referencia: George Anna Clark (México), Sidiki Gabriel Dembele (Mali), Jan Olof Drangert (Suecia), Gunder Edström y Almaz Terefe (Etiopía), Bekithemba Gumbo (Zimbabwe/Sudáfrica), Li Guoxue (China), Edward Guzha (Zimbabwe), Watana Pinsem (Tailandia), Caroline Schönning (Suecia) y Liao Zongwen (China).

Mary McAfee ha revisado rápida y cuidadosamente nuestro uso de la lengua inglesa y por esto le estamos muy agradecidos.

Estos lineamientos han sido desarrollados dentro y financiados por EcoSanRes, una red internacional basada en el medio ambiente y el desarrollo de programas de saneamiento ecológico financiada por Asdi, la Agencia Sueca de Cooperación Internacional.

Resumen de los Lineamientos

Las recomendaciones para el uso agrícola de la excreta se fundamentan en el conocimiento del contenido de nutrientes en la excreta, las cantidades excretadas, la composición y disponibilidad de fertilizante para las plantas y el tratamiento de la excreta, que influencia sus propiedades. Se presentan en el texto relaciones y datos que pueden constituir una base para adaptar los lineamientos a las condiciones locales. La orina y las heces son fertilizantes completos de alta calidad con bajo contenido de contaminantes, como metales pesados. La orina es rica en nitrógeno, mientras que las heces son ricas en fósforo, potasio y materia orgánica. La cantidad de los nutrientes excretados depende de las cantidades existentes en los alimentos consumidos, se presentan ecuaciones para el cálculo del nitrógeno y fósforo en la excreta basadas en estadísticas fácilmente asequibles del suministro de proteínas en los alimentos.

La excreta debe ser manejada y tratada de acuerdo a los lineamientos de higiene (Schönning y Stenström, 2004) previo su uso en los cultivos. Las recomendaciones locales específicas para el uso de la orina y de las heces en los cultivos deben estar basadas en las recomendaciones locales para la fertilización de cultivos. Las dosis de aplicación para fertilizantes minerales nitrogenados (urea o amonio) de tipo comercial, si existen, pueden ser usadas como base para las recomendaciones del uso de la orina. Antes de traducir dichas recomendaciones a la orina, su concentración de nitrógeno (N) debe ser analizada. De otro modo, se puede estimar una concentración de nitrógeno de 3-7 g por litro. De no ser posible la obtención de recomendaciones locales, una regla general es aplicar la orina producida por una persona durante un día (24 horas) a un metro cuadrado de terreno por estación de crecimiento. Si toda la orina es recolectada, esta alcanzará para fertilizar 300.400 m² de cultivos por persona por año con N a una dosis razonable. Para la mayoría de los cultivos, las dosis de aplicación máxima, antes de correr el riesgo de efectos tóxicos, es por lo menos cuatro veces esta dosis. La orina contiene también una gran cantidad de fósforo, suficiente para fertilizar hasta 600 m² de cultivo por persona y temporada de crecimiento, si la dosis de aplicación se escoge para sustituir al fósforo removido, en cuanto a las heces véase más abajo.

La orina puede ser aplicada pura o diluida. Sin embargo, su dosis de aplicación siempre debe basarse en la tasa de aplicación deseada del nutriente y cualquier necesidad adicional de agua debe ser satisfecha con agua solamente, no orina diluida. Para evitar malos olores, pérdida de amoníaco y quemaduras foliares, la orina deberá ser aplicada cerca al suelo e incorporada tan pronto como sea posible.

La orina es un fertilizante de acción rápida cuyos nutrientes son mejor aprovechados si la orina es aplicada antes de la etapa de siembra hasta dos tercios del periodo entre la siembra y la cosecha. El mejor efecto fertilizante resulta de utilizar heces y orina en combinación, pero no necesariamente en el mismo año en la misma zona. La cantidad de orina a ser aplicada puede ser distribuida en una sola dosis o en varias dosis pequeñas, bajo la mayoría de circunstancias la producción total es la misma para cualquiera de las dos formas.

Para las heces, la dosis de aplicación puede basarse en las recomendaciones locales para el uso de fertilizantes fosfatados. Esto da una dosis de aplicación baja, y la mejora lograda mediante la adición de materia orgánica no es notaria. Sin embargo, las heces son a menudo aplicadas en dosis mayores, a las cuales la estructura y la capacidad de retención de agua del suelo son visiblemente mejoradas como resultado del incremento de materia orgánica. Generalmente se añade a las heces materia orgánica y cenizas, estas mejoran la capacidad de

amortiguamiento y el pH del suelo, lo cual es particularmente importante en suelos con un pH bajo. Es así, que dependiendo de la estrategia de aplicación, las heces de una persona pueden fertilizar 1,5 – 300 m², esto es, si fueron aplicadas de acuerdo a su contenido de materia orgánica o de fósforo. Las heces deben ser aplicadas y mezcladas en el suelo antes de que la siembra inicie. La aplicación local, en agujeros o surcos cerca de donde se sembrarán las plantas, es una forma de economizar en este valioso recurso.

Estos lineamientos han sido desarrollados dentro del marco de EcoSanRes, una red internacional de expertos de saneamiento ecológico financiada por Asdi, la Agencia Sueca de Cooperación Internacional.

Requisitos para el crecimiento de las plantas

Los requisitos para el crecimiento las plantas incluyen luz, agua, una estructura para el crecimiento de las raíces y nutrientes. Los factores limitantes que regulan el crecimiento de las plantas pueden ilustrarse como en la Figura 1. Cuando el suministro del factor más limitante para el crecimiento se ha incrementado, entonces otros factores de crecimiento se convierten en factores limitantes de importancia (Figura 1). Si otros factores diferentes a los nutrientes son los limitantes, por ejemplo el agua, la luz, el pH, la salinidad o la temperatura entonces el añadir más nutrientes no incrementará la producción.

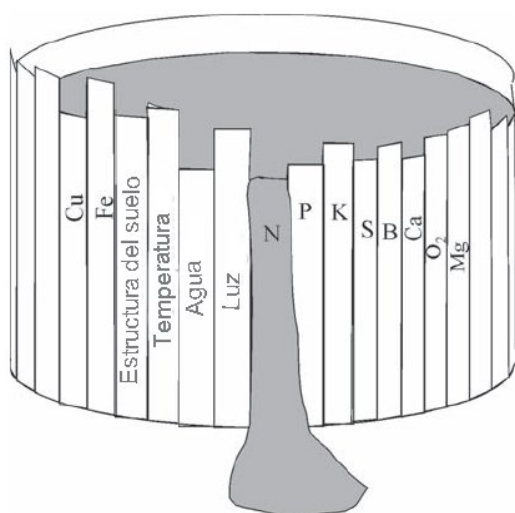


Figura 1. Los factores limitantes que regulan el crecimiento de las plantas pueden ser pensados como los tabloncillos laterales de un barril y los niveles de producción como el nivel que el líquido puede alcanzar antes de desbordarse. Si el factor más limitante es mejorado, por ejemplo añadiendo nitrógeno, entonces otro factor será el que limite la producción a un nivel mayor.

MACRONUTRIENTES

Los elementos esenciales para el crecimiento de de las plantas se llaman nutrientes. Los nutrientes usados en cantidades mayores son los elementos no-minerales, por ejemplo el carbono, el hidrógeno y el oxígeno. Estos elementos son tomados principalmente como dióxido de carbono (CO₂) del aire y agua (H₂O) por las raíces. Al incrementar el suministro de luz, dióxido de carbono, agua y nutrientes minerales del rango de deficiencia aumenta la tasa de crecimiento y producción de los cultivos.

Los nutrientes pueden ser divididos en dos categorías; macronutrientes y micronutrientes. La

absorción de macronutrientes es alrededor de 100 veces la de micronutrientes. Los seis elementos generalmente clasificados como macronutrientes son nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), azufre (S), calcio (Ca) y magnesio (Mg). Estos nutrientes son principalmente tomados del suelo por las raíces en forma iónica.

El N es frecuentemente el nutriente más limitante para el crecimiento de las plantas y el uso del N es usualmente más alto que el uso total de los otros macronutrientes y micronutrientes en conjunto. El N es tomado por la planta como iones de nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+). Las principales fuentes naturales de N disponible para las plantas son la degradación de la materia orgánica en el suelo y la fijación de N de los microorganismos que viven en simbiosis con las raíces de las leguminosas.

El P es tomado por las plantas como iones de fosfato (a un pH 5-7 principalmente como HPO_4^{2-} y H_2PO_4^-). El abastecimiento natural de P disponible para las plantas proviene de la disolución de sulfatos solubles en el suelo y de la mineralización de la materia orgánica.

La alta solubilidad del K en el agua a menudo resulta en una buena dotación de K disponible para las plantas. Sin embargo, muchos cultivos, como las hortalizas, necesitan grandes cantidades de K y por lo tanto la fertilización adicional con K puede mejorar el crecimiento de las plantas. El S es también altamente soluble en agua y la mayoría de cultivos lo necesitan de cierta manera en cantidades menores a las del P. La adición anual de S es con frecuencia necesaria.

MICRONUTRIENTES

Los micronutrientes son tan esenciales para el crecimiento de las plantas como los macronutrientes, pero son tomados en pequeñas (micro) cantidades. Los elementos considerados micronutrientes son el boro, el cobre, el hierro, el cloro, el manganeso, el molibdeno y el zinc (Frausto da Silva y Williams, 1997; Marschner, 1997). La mayoría de los micronutrientes son necesarios para formar diferentes enzimas. Estos nutrientes están normalmente disponibles en cantidades suficientes en el contenido inicial del suelo y la mineralización del material orgánico. Solamente en circunstancias especiales la escasez de los micronutrientes limita el crecimiento de las plantas. Cuando la excreta humana es usada como un fertilizante el riesgo de dicha deficiencia es mínimo ya que la excreta contiene todos los micronutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas.

RESPUESTA DE LA COSECHA Y USO DE LOS RECURSOS

La fertilización aumenta la producción de la cosecha únicamente si el nutriente suministrado es uno de los principales factores que limitan su crecimiento (Figura 1). No se debe esperar un incremento en la producción cuando se fertiliza cultivos cuyos principales factores limitantes no son el abastecimiento de nutrientes, por ejemplo, falta de agua, pH muy bajo o muy elevado, etc. Para alcanzar un máximo efecto, es importante que la excreta sea usada de la manera más eficiente y esto varía dependiendo de la cantidad disponible de nutrientes en relación con la disponibilidad de espacio y los requerimientos de fertilizante por unidad de área.

Existe un área suficiente para usar todos los nutrientes en todo su potencial si el promedio de aplicación del N disponible está bajo la cantidad A en la Figura 2, la cual es la cantidad hasta la cual la producción aumenta linealmente con el incremento de la aplicación de los nutrientes. La

cantidad A varía de acuerdo a los cultivos, las regiones y los climas. Si esta cantidad es desconocida, entonces la aplicación de la orina de una persona durante un día por metro cuadrado (aprox. 1,5 litros de orina/m² y temporada de cultivo) puede ser usada como regla general. Esto corresponde a la aplicación de aproximadamente 40 – 110 Kg N/ha.

Cuando el área no es un factor limitante, se puede aprovechar todo el efecto fertilizante de la orina, aunque la orina sea aplicada en diferentes dosis y en diferentes lugares, siempre y cuando la dosis en todos los lugares sea menor a la de la cantidad A (Figura 2).

La mayor eficiencia fertilizante, cuando el área es tan limitada que la cantidad promedio debe estar sobre A, se obtiene manteniendo siempre la cantidad sobre toda el área disponible, si todos los cultivos tienen la misma demanda de N. La producción aumenta cuando la aplicación aumenta de la cantidad A a la cantidad B (Figura 2). Sin embargo, tanto la cantidad como la calidad de la producción son importantes y elevadas cantidades de N disponible pueden afectar la calidad, positiva y negativamente. Por ejemplo, la calidad del trigo es generalmente mejorada con una alta dosis de N, mientras que la calidad de las papas, por ejemplo, puede disminuir ya que los tubérculos pueden volverse acuosos. No obstante, el tiempo de aplicación es importante aquí ya que la absorción de nutrientes de la mayoría de cultivos disminuye luego de que el cultivo entra en la etapa generativa, como las espigas del maíz, por ejemplo.

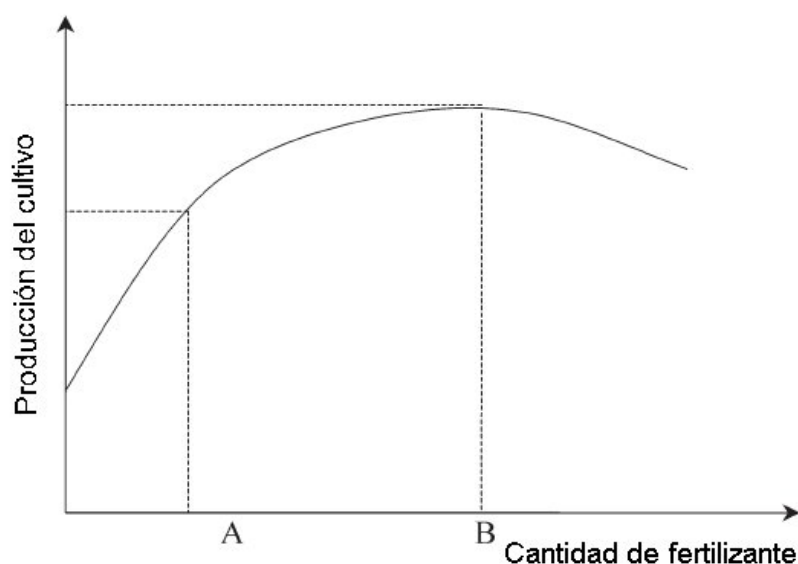


Figura 2. El efecto sobre la producción de la cosecha de aumentar las tasas de aplicación de N disponible, por ejemplo, en forma de orina. Hasta la cantidad A, el aumento de la producción es lineal a la adición de orina. Entre A y B la producción continúa aumentando en respuesta al aumento de fertilizante, pero a un ritmo más lento. Más allá de la cantidad B, la aplicación de fertilizante se vuelve tóxica y la producción disminuye si la tasa de aplicación aumenta.

Si no existe información disponible para la cantidad B, entonces se puede usar como regla general una tasa cuatro veces mayor a la cantidad A, es decir aplicar la orina de una persona durante un día a un área de 0,25 m², correspondientes a una tasa de aplicación aproximada de 160 – 440 Kg N/ha.

Incluso si el área es muy limitada, la tasa promedio nunca debe exceder la cantidad B, cantidades adicionales de N (por ejemplo orina) superiores a estas se vuelven tóxicas. La cantidad de orina que no puede ser usada como fertilizante debe ser usada de otra manera, por ejemplo, como un agente acelerador en el proceso de compostaje. Cuando se usa de esta

manera, la mayoría del N se pierde, pero los otros nutrientes permanecen en la composta y se vuelven disponibles para las plantas.

Nutrientes en la Excreta

BALANCE DE MASAS DE LOS NUTRIENTES

La masa no puede ser creada o destruida, excepto en reacciones nucleares, este hecho es la base de los ciclos sustentables de nutrientes de las plantas. Este tipo de ciclos existen en la naturaleza, un ejemplo de ello es la sabana africana, donde la circulación de los nutrientes de las plantas entre la vegetación y los animales ha sido sustentable por tanto tiempo que la jirafa ha tenido tiempo para desarrollar su cuello largo! Con el saneamiento ecológico buscamos crear ciclos de nutrientes en las sociedades urbanas que sean tan sustentables como aquellos que existen en el resto de la naturaleza.

Los nutrientes consumidos abandonan el cuerpo humano con la excreta, una vez que este ha concluido su desarrollo. Mientras el cuerpo continua creciendo, algunos nutrientes son tomados e integrados en los tejidos del cuerpo humano. El N es acumulado en las proteínas, el P principalmente en los huesos y músculos y el K en los nervios y músculos. Sin embargo, sólo una porción pequeña de los nutrientes es retenida en el cuerpo aún cuando los niños y los adolescentes crecen rápidamente. Según cálculos realizados de la dieta promedio y peso ganado por los adolescentes suecos entre los 2 y 17 años de edad (Becker, 1994) y la composición del cuerpo humano (Garrow, 1993), la retención en el cuerpo en desarrollo durante este período es aproximadamente 2%, 6% y 0,6% de N, P y K respectivamente. Una vez que el esqueleto y los músculos alcanzan su talla completa, no se retienen ni acumulan más nutrientes en el cuerpo.

Es así que, la cantidad de nutrientes excretados es esencialmente igual a la consumida. Esto tiene tres implicaciones importantes: 1) La cantidad de nutrientes excretados puede calcularse a partir de la ingesta de alimentos, en la que la información es a la vez mejor y más fácilmente disponible que en la excreta. 2) Si la excreta y los residuos orgánicos, así como el estiércol animal y los residuos de los cultivos, son reciclados, entonces la fertilidad de la tierra cultivable puede mantenerse, ya que los productos reciclados contienen la misma cantidad de nutrientes que fueron utilizadas por los cultivos. 3) Las diferencias en la composición de la excreta entre diversas regiones refleja las diferencias en el consumo de los cultivos ingeridos y por consiguiente en la necesidad de nutrientes requeridos para mantener la fertilidad. Independientemente de las cantidades y las concentraciones de los nutrientes en la excreta, una recomendación importante al fertilizar es tratar de distribuir los fertilizantes de la excreta en un área similar a la que fue usada para producir los alimentos.

CONTENIDO DE MACRONUTRIENTES EN LA EXCRETA

Existen pocas mediciones de las cantidades y la composición de la excreta humana y por ende es necesario contar con un método para calcular la composición de la excreta a partir de una información que sea fácil de obtener. Un método, que usa las estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (www.fao.org) sobre el suministro de alimentos disponible en varios países, ha sido desarrollado por Jönsson y

Vinnerås (2004). Este método utiliza ecuaciones derivadas de las estadísticas de la FAO y una estimación de la excreción media de la población sueca (Tabla 1), donde extensas mediciones en la excreta han sido realizadas.

Tabla 1. Nuevos valores propuestos para la masa y nutrientes excretados en Suecia (Vinnerås, 2002)

Parámetro	Unidad	Orina	Heces	Papel higiénico	Aguas negras (orina + heces)
Masa húmeda	Kg/persona.año	550	51	8,9	610
Masa seca	Kg/ persona.año	21	11	8,5	40,5
Nitrógeno	g/ persona.año	4000	550		4550
Fósforo	g/ persona.año	365	183		548

Sobre la base de la estimación de la excreción media, de los alimentos suministrados a la población Sueca de acuerdo a las estadísticas de la FAO y en un análisis estadístico de diferentes productos alimenticios, se han desarrollado relaciones (ecuaciones 1-2) entre los alimentos suministrados de acuerdo a la FAO y la excreción de N y P.

$$N = 0,13 * \text{Proteína total de los alimentos} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$P = 0,011 * (\text{Proteína total de los alimentos} + \text{Proteína vegetal de los alimentos}) \quad \text{Ecuación 2}$$

En las ecuaciones 1-2 las unidades del N y del P son las mismas que las de la proteína de los alimentos. Como se muestra en la Ecuación 2, existe una correlación positiva fuerte entre los contenidos de proteína y el fósforo en los productos alimenticios. Además, los alimentos vegetales contienen en promedio dos veces más de fósforo por gramo que las proteínas animales, por lo que la proteína vegetal se considera dos veces en la Ecuación 2.

Estas ecuaciones son útiles para la estimación de la excreción media de N y P en diferentes países. Las estadísticas de la FAO de los alimentos suministrados son la base para estas estimaciones, estas estadísticas están disponibles en la página web de la FAO, bajo “Datos de nutrición – Suministro de Alimentos – Equivalente Primario de las Cosechas”. En las Tablas 2 y 3 se dan ejemplos de los resultados para dichas estimaciones para algunos países.

Tabla 2. Suministro de alimentos (equivalente primario de las cosechas) en diferentes países en el 2000 (FAO, 2003)

País	Energía total Kcal/cap.día	Energía vegetal Kcal/cap.día	Proteína total g/cap.día	Proteína vegetal g/cap.día
China, Asia	3029	2446	86	56
Haití, Antillas	2056	1923	45	37
India, Asia	2428	2234	57	47
Sudáfrica, África	2886	2516	74	48
Uganda, África oriental	2359	2218	55	45

Tabla 3. Excreción de nutrientes estimada por persona en diversos países (Jönsson y Vinnerås, 2004)

País		Nitrógeno Kg/cap.año	Fósforo Kg/cap.año	Potasio Kg/cap.año
China, total		4.0	0.6	1.8
	Orina	3.5	0.4	1.3
	Heces	0.5	0.2	0.5
Haití, total		2.1	0.3	1.2
	Orina	1.9	0.2	0.9
	Heces	0.3	0.1	0.3
India, total		2.7	0.4	1.5
	Orina	2.3	0.3	1.1
	Heces	0.3	0.1	0.4
Sudáfrica, total		3.4	0.5	1.6
	Orina	3.0	0.3	1.2
	Heces	0.4	0.2	0.4
Uganda, total		2.5	0.4	1.4
	Orina	2.2	0.3	1.0
	Heces	0.3	0.1	0.4

Estas estimaciones asumen que la pérdida entre los alimentos suministrados y los alimentos consumidos, es decir los residuos de alimentos generados, es relativamente igual en los distintos países. Esta suposición es verificada por la información obtenida en China. La excreción total reportada por Gao et al. (2002) para China fue 4,4 Kg de N y 0,5 Kg de P. Estos valores corresponden de manera certera con los calculados en la Tabla 3, considerando la dificultad de realizar mediciones representativas de la excreción de una población grande.

En la Tabla 3, la excreción total ha sido dividida entre orina y heces, usándose para esto datos suecos. En Suecia, aproximadamente el 88% del N y 67% del P excretados se encuentran en la orina y el resto en las heces. La distribución de los nutrientes entre la orina y las heces depende de que tan digerible es la dieta, ya que los nutrientes digeridos entran en el metabolismo y son excretados con la orina, mientras que las fracciones no digeridas son excretadas con las heces. Es así, que para países donde la dieta es menos digerible que en Suecia, la orina contendrá un porcentaje menor al 88% de N y 67% de P excretados. Por ejemplo, la información de China (Gao et al., 2002) indica que la orina contiene aproximadamente el 70% del N y entre 25-60% del P excretados. Para reducir la incertidumbre de cómo los nutrientes, especialmente el P, están distribuidos, se requieren más mediciones de la composición de la excreta en países con dietas menos digeribles.

La digestibilidad también influencia la cantidad de heces excretada. En Suecia esta cantidad es estimada en 51 Kg de masa húmeda (Vinnerås, 2002), en China se ha medido como 115 Kg/persona por año (Gao et al., 2002) y en Kenia como hasta 190 Kg/persona por año (Pieper, 1987). La masa seca fecal en Suecia es alrededor de 11 Kg y en China 22 Kg/persona por año. Las concentraciones de nutrientes son estimadas por la cantidad de nutrientes en la materia fecal y su masa.

La concentración de nutrientes de la orina excretada depende de las cantidades de nutrientes, que han sido estimadas arriba, y de la cantidad de líquido, que en promedio para los adultos se estima está en un rango entre 0,8-1,5 litros por persona por día y para niños alrededor de la mitad de esa cantidad (Lentner et al., 1981). Sobre esta base y sobre otras mediciones, el valor propuesto para Suecia es de 1,5 litros por persona por día (550 litros/persona por año, Vinnerås

2002), mientras que Gao et al. (2002) reportó para China 1,6 litros por persona por día (580 litros/persona por año).

La orina es usada por el cuerpo como un medio para equilibrar los líquidos y sales y la cantidad de orina, por tanto, varía con el tiempo, la persona y las circunstancias. Por ejemplo, la sudoración excesiva resulta en una orina concentrada, mientras que el consumo de grandes cantidades de líquidos diluye la orina. Así, para determinar la dosis de aplicación de la orina como fertilizante, el cálculo se debe basar preferentemente en el número de personas y días en que ha sido recolectada, ya que esto proporciona una mejor indicación del contenido de nutrientes que el volumen.

CONTENIDO DE METALES PESADOS Y SUSTANCIAS TÓXICAS EN LA EXCRETA

El contenido de metales pesados y otras sustancias contaminantes como los residuos de plaguicidas son generalmente bajos o muy bajos en la excreta, y dependen de las cantidades presentes en los productos consumidos. Los riñones filtran la orina de la sangre. Contiene sustancias que han entrado al metabolismo y, por tanto, los niveles de metales pesados en la orina son muy bajos (Jönsson et al., 1997; Jönsson et al., 1999; Johansson et al., 2001; Vinnerås, 2002; Palmquist et al., 2004). El contenido de estas sustancias es mayor en las heces en comparación con la orina. La causa principal de esto es que las heces consisten básicamente en materiales no metabolizados combinados con algunos materiales metabolizados. La proporción principal de micronutrientes y otros metales pesados pasa a través del intestino sin ser afectada (Fraústo da Silva y Williams, 1997). Aún así, las concentraciones de sustancias contaminantes en las heces son usualmente más bajas que en los fertilizantes químicos (por ejemplo, el cadmio) y en el estiércol de aves de corral (por ejemplo, el cromo y el plomo) (Tabla 4).

Tabla 4. Concentraciones de metales pesados (cobre, zinc, cromo, níquel, plomo y cadmio) en la orina, en las heces, en la mezcla orina+heces y en los residuos de cocina separados en la fuente, comparados con el estiércol de aves de corral (FYM por sus siglas en inglés) en granjas de ganado orgánico en Suecia, tanto en $\mu\text{g}/\text{Kg}$ de peso húmedo y mg/Kg de P (calculado por SEPA, 1999; Vinnerås, 2002)

	Unidad	Cu	Zn	Cr	Ni	Pb	Cd
Orina	$\mu\text{g}/\text{Kg}$ ph	67	30	7	5	1	0
Heces	$\mu\text{g}/\text{Kg}$ ph	6667	65000	122	450	122	62
Mezcla orina+ heces	$\mu\text{g}/\text{Kg}$ ph	716	6420	18	49	13	7
Residuos de cocina	$\mu\text{g}/\text{Kg}$ ph	6837	8717	1706	1025	3425	34
Ganado orgánico FYM	$\mu\text{g}/\text{Kg}$ ph	5220	26640	684	630	184	23
Orina	mg/Kg P	101	45	10	7	2	1
Heces	mg/Kg P	2186	21312	40	148	40	20
Mezcla orina+ heces	mg/Kg P	797	7146	20	54	15	7
Residuos de cocina	mg/Kg P	5279	6731	1317	791	2644	26
Ganado orgánico FYM	mg/Kg P	3537	18049	463	427	124	16

Una gran proporción de las hormonas producidas en nuestros cuerpos y de los productos farmacéuticos que consumimos son excretadas con la orina, sin embargo es razonable creer que el riesgo de efectos negativos en la cantidad y la calidad de los cultivos es insignificante. Todos los mamíferos producen hormonas y, durante el curso de la evolución, estas han sido excretadas en los ambientes terrestres. Es así, que la vegetación y los microbios del suelo están adaptados a ellas, y pueden degradarlas. Además, la cantidad de hormonas presentes en el estiércol de los

animales domésticos es por mucho mayor a la cantidad encontrada en la orina humana. Así, aunque las valoraciones teóricas basadas en pruebas con peces han indicado un riesgo de ecotoxicidad del estradiol (Ambjerg-Nielsen et al., 2004) al aplicar la orina, los experimentos de fertilizantes y la historia evolutiva demuestran que no existe un riesgo real.

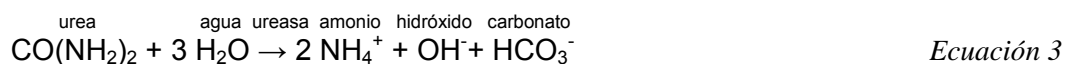
La gran mayoría de las sustancias farmacéuticas se derivan de la naturaleza, incluso si muchas de ellas son producidas sintéticamente, siendo encontradas y degradadas en los ambientes naturales con una actividad microbiana diversa. Esto ha sido verificado en las plantas de tratamiento de aguas residuales ordinarias, donde la degradación de sustancias farmacéuticas mejora cuando el tiempo de retención se prolongó de un número de horas a un número de días. La orina y los fertilizantes fecales son mezclados en la zona vegetal, que posee una comunidad microbiana tan diversa y activa como la de las plantas de tratamiento de aguas residuales, y las sustancias son retenidas por meses en la capa vegetal. Esto significa que existe una cantidad suficiente de tiempo para que los microbios degraden cualquier sustancia farmacéutica y que los riesgos asociados a ello son reducidos.

En lo concerniente a hormonas y sustancias farmacéuticas, parece ser mucho mejor reciclar la orina y las heces a la tierra cultivable que descargarlas en las aguas receptoras. Ya que, los sistemas acuáticos no han estado nunca antes expuestos a las hormonas de los mamíferos en grandes cantidades, no es sorprendente que el desarrollo del sexo de los peces y los reptiles se vea disturbado cuando ellos están expuestos a los efluentes de aguas residuales. Adicionalmente, el tiempo de retención de las aguas residuales en las plantas de tratamiento es muy corto para degradar las sustancias farmacéuticas y las aguas receptoras comúnmente están conectadas a las fuentes de agua. Así, no es admirable que se haya detectado por décadas sustancias farmacéuticas, no sólo en, por ejemplo, las aguas receptoras de Berlín sino también en las aguas subterráneas, que son la fuente de agua potable de Berlín (Herberer et al., 1998).

Existen muchos indicios de que el posible riesgo de las sustancias farmacéuticas en el sistema agrícola es pequeño y mucho más pequeño que los riesgos asociados con el sistema actual. Uno de estos indicios es que en muchos países el consumo humano de productos farmacéuticos es menor comparado con el de los animales domésticos, ya que en muchos países la mayoría de alimentos comerciales contienen antibióticos, que han sido añadidos para estimular el crecimiento. Por otro lado el uso de productos farmacéuticos es pequeño comparado con la cantidad de plaguicidas (insecticidas, fungicidas, bactericidas y herbicidas) usados en la agricultura, que son tan activos biológicamente como las sustancias farmacéuticas.

COMPOSICIÓN DE LOS NUTRIENTES EN LA ORINA Y DISPONIBILIDAD PARA LAS PLANTAS

La orina ha sido filtrada por los riñones y contiene únicamente sustancias de bajo peso molecular. Al momento de la excreción, el pH de la orina está generalmente alrededor de 6, pero puede variar entre 4,5 y 8,2 (Lentner et al., 1981). El 75-90% del N es excretado como urea y el porcentaje remanente, principalmente, como amonio y creatinina (Lentner et al., 1981). En la presencia de ureasa, la urea es rápidamente degradada a amonio y dióxido de carbono (Ecuación 3) y los iones de hidróxido producidos, normalmente incrementan el pH a 9-9,3. Normalmente la ureasa se acumula en el sistema de tuberías de la orina y por tanto la transformación antes mencionada es muy rápida, generalmente en cuestión de horas (Vinnerås et al., 1999; Jönsson et al., 2000).



El amonio está disponible directamente para las plantas y es un fertilizante de N excelente, lo que se verifica por el hecho de que la urea (la cual es degradada a amonio por la ureasa en el suelo) y el amonio son dos de los fertilizantes de N más usados en el mundo. Muchos cultivos prefieren el nitrato al amonio, sin ser esto un problema. El amonio aplicado en los suelos de cultivo es transformado dentro de pocos días a nitrato (Ecuaciones 4-6). En suelos con una actividad microbiana muy baja, estas transformaciones pueden tomar más tiempo, debido a que son realizadas por microbios.



La disponibilidad del N de la orina para las plantas es la misma que la de los fertilizantes químicos de urea o amonio. Esto es de esperar, ya que el 90-100% del N de la orina se encuentra como urea y amonio y ha sido verificado en experimentos de fertilización (Kirchman y Pettersson, 1995; Richert Stintzing et al., 2001).

El P en la orina es prácticamente (95-100%) inorgánico y es excretado en forma de iones de fosfato (Lentner et al., 1981). Estos iones están disponibles directamente para las plantas y así no es sorprendente encontrar que su disponibilidad para las plantas sea tan buena como la del fosfato químico (Kirchmann y Pettersson, 1995).

El K es excretado en la orina como iones, los cuales están disponibles directamente para las plantas. Esta es la misma forma proveída por los fertilizantes químicos y por consiguiente su efecto fertilizante debe ser semejante.

El S es excretado principalmente en la forma de iones libres de sulfato (Lentner, 1981; Kirchmann y Pettersson, 1995), los cuales están disponibles directamente para las plantas. Esta es la misma forma de S que en la mayoría de fertilizantes químicos y así el efecto fertilizante del S de la orina debe ser igual al de los fertilizantes de S químicos.

COMPOSICIÓN DE LOS NUTRIENTES EN LAS HECES Y DISPONIBILIDAD PARA LAS PLANTAS

Como se muestra arriba, la mayor cantidad de los nutrientes excretados se encuentra en la orina, que tiene una contaminación extremadamente baja de metales pesados. La fracción fecal contiene también una cantidad grande de nutrientes, relativamente, descontaminados. En comparación con la orina, que tiene nutrientes solubles en agua, las heces contienen tanto nutrientes solubles en agua como nutrientes que están combinados en partículas grandes insolubles en agua. Sin embargo, alrededor del 50% del N y la mayoría del K en las heces son solubles en agua (Berger, 1960; Trémolières et al., 1961; Guyton, 1992; Fraústo da Silva y Williams, 1997). El P se encuentra principalmente como partículas de fosfato de calcio, lentamente soluble en agua (Fraústo da Silva y Williams, 1997). El K se encuentra en su mayoría como iones disueltos.

La disponibilidad de los nutrientes de la materia fecal para las plantas es más baja y más lenta que la de los nutrientes de la orina. Esto se debe a que la cantidad mayor de P y una gran cantidad de N provienen de materia no digerida y esta materia necesita ser degradada en el suelo para estar disponible a las plantas. No obstante, el material orgánico en las heces se degrada y así su contenido de N orgánico y P se vuelven disponibles para las plantas. Los fosfatos de calcio también son disueltos y se vuelven disponibles para las plantas y estos están tan disponibles como los suministrados por los fertilizantes químicos. El K en las heces está en forma iónica, que está disponible directamente para las plantas. Es así que es únicamente para el N que la disponibilidad de los nutrientes fecales es considerablemente menor que la de los fertilizantes químicos o la orina. Las altas concentraciones de P, K y materia orgánica en la materia fecal pueden ocasionar un incremento sustancial en la producción, especialmente en suelos pobres. La materia orgánica contribuye de varias maneras: mejorando la estructura del suelo, aumentando la capacidad de retención del agua y la capacidad de amortiguamiento y favoreciendo a los microorganismos del suelo sirviéndoles como fuente de energía.

Tratamiento higiénico de la orina y las heces – efectos en los nutrientes de las plantas

TRATAMIENTOS PRIMARIO Y SECUNDARIO

La orina se entuba, generalmente, directo desde el inodoro desviador de orina o urinario al tanque de recolección o contenedor. La calidad higiénica de la orina recolectada es usualmente muy alta en comparación con la de las heces. Los riesgos higiénicos asociados con la desviación de orina son principalmente un resultado de la contaminación por las heces, que es posible en varios sistemas.

El tratamiento secundario es necesario únicamente en sistemas grandes (es decir sistemas donde la orina recolectada por una familia se usa para fertilizar los cultivos a ser consumidos por otras personas fuera de la familia) donde la fertilización se hace a menos de un mes de la cosecha¹. El almacenamiento separado es simple y económico, y por ende el método más usado para el tratamiento secundario de la orina.

Las heces generalmente necesitan tanto un tratamiento primario como secundario antes de ser aplicadas, aunque la distinción entre estos dos tratamientos es a menudo difusa. El tratamiento primario es aquel que ocurre durante la recolección, y en los sistemas secos este normalmente ocurre bajo el inodoro durante el período de recolección. El tratamiento primario tiene varios objetivos: a) reducir el riesgo de olores; b) reducir el riesgo de la presencia de moscas; y c) reducir el riesgo higiénico, es decir disminuir el número de patógenos potenciales en las heces. En un sistema seco, este tratamiento primario puede consistir de la adición de cenizas luego de cada defecación.

El tratamiento secundario ocurre cuando el período de recolección ha finalizado y puede tener lugar en el inodoro (por ejemplo, en un inodoro de doble cámara) o en otro lado. El objetivo principal del tratamiento secundario es entregar las heces higiénicamente seguras. Otro objetivo es transformar la mezcla de heces a un estado donde sea inodora y visualmente agradable. Esto significa que no se pueda reconocer en ella posibles pedazos de heces o papel higiénico. Esto es

¹ Para mayor información véase los lineamientos de higiene (Schönning y Stenström, 2004).

importante cuando el producto fecal es manipulado manualmente y menos importante cuando es manipulado mecánicamente.

Existen varias opciones de tratamiento secundario; compostaje, digestión anaerobia, almacenamiento, tratamiento químico e incineración. Los tratamientos termofílicos (compostaje, digestión anaerobia, incineración) para la higienización dependen de que todo el material alcance una temperatura lo suficientemente alta por un período de tiempo lo suficientemente prolongado para asegurar la eliminación de los patógenos. Este período varía entre segundos para la incineración y días o incluso algunas semanas para el compostaje termofílico. Para lograr niveles de higienización similares, los otros tratamientos necesitan más tiempo y generalmente el decrecimiento de patógenos depende no solamente de la temperatura sino también de un sinnúmero de otros parámetros, como la humedad, y el pH, entre otros.

El tratamiento tiene efectos en el contenido y disponibilidad para las plantas de los nutrientes de las heces y este efecto varía según los nutrientes y los tratamientos. El N y el S pueden perderse en forma de gases, N_2 , SO_2 y H_2S , durante algunos tratamientos, pero los otros nutrientes permanecen en el producto tratado, mientras no se formen lixiviados.

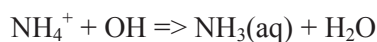
Tratamiento Primario

Orina

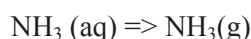
La orina es entubada del inodoro desviador de orina al contenedor de recolección. Debido a la acumulación de ureasa, se forman sedimentos donde la orina ha permanecido inmóvil por un tiempo, por ejemplo, en el sifón del inodoro, en las tuberías que están prácticamente horizontales y en el tanque. Este sedimento consiste de estruvita ($MgNH_3PO_4$) y apatita ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$). Es formado porque el pH de la orina aumenta a 9-9,3 debido a la degradación de la urea a amonio (Ecuación 4) y a este pH alto las concentraciones iniciales de fosfato, magnesio, calcio y amonio ya no son solubles sino que se precipitan. Del P de la orina, el 30% o más se transforma eventualmente en sedimentos (Jönsson et al., 2000; Udert et al., 2003). Si las tuberías poseen una pendiente mínima del 1% y su diámetro es lo suficientemente grande (para tuberías horizontales ≥ 75 mm) los sedimentos fluyen al tanque de recolección, donde se forma una capa inferior. Esta es líquida y puede ser manipulada en conjunto con el resto de la orina.

Dado el caso de que los sedimentos sean manipulados y reutilizados con el resto de la orina, no se alteraran ni la cantidad, ni la disponibilidad de nutrientes. La concentración de P en el sedimento inferior puede ser más del doble que en el resto de la orina. Es así, que estos sedimentos pueden ser utilizados para cultivos con altas demandas de P o manipulados con el resto de la orina. En el último caso, el producto fertilizando deberá preferiblemente ser mezclado antes de ser aplicado para obtener una dosis uniforme.

El pH alto de la orina en el tanque de recolección, normalmente 9-9,3, añadido a la alta concentración de amonio, significa que existe el riesgo de perder N en forma de amoníaco con la aireación (Ecuaciones 7 y 8). Sin embargo, estas pérdidas son fácilmente eliminadas al diseñar el sistema de tal manera que el tanque y las tuberías no sean ventilados, sino solamente la presión igualada. Esto también elimina el riesgo de malos olores del sistema de orina. La orina es muy corrosiva por lo que los tanques deben ser de un material resistente, por ejemplo, plástico o concreto de alta calidad; se debe evitar el uso de metales.



Ecuación 7



Ecuación 8

Heces - deshidratación usando aditivos

El tratamiento primario más común de las heces es la recolección en una cámara ventilada, a menudo con algún aditivo, como cenizas vegetales, cal o tierra seca. El aditivo debe ser seco y es normalmente mucho más seco que las heces, que al momento de la excreción tienen un contenido de materia seca similar al 20% mientras que el contenido de materia seca de la tierra seca y cenizas es generalmente entre un 85-100%. Es así, que el contenido de materia seca de la mezcla es mucho más alto que el de las heces, aunque no ocurra un secado por aireación. Este aumento del contenido de materia seca reduce el riesgo de olores y moscas. Reduce algunos patógenos, y el efecto es reforzado si el aditivo tiene un pH alto, como el de la cal o el de las cenizas vegetales. El riesgo de moscas es reducido más eficientemente si el aditivo se aplica de tal manera que la superficie fresca de las heces no quede nunca expuesta, es decir si el aditivo es añadido después de cada defecación de modo que cubra completamente la superficie de las heces frescas.

Los aditivos proporcionan diferentes nutrientes. La ceniza vegetal es rica en K, P y calcio y la tierra también contiene estos nutrientes. Estos nutrientes, obviamente, contribuyen a incrementar la cantidad total de nutrientes en la mezcla fecal.

Si se añade ceniza o tierra después de cada uso del inodoro, entonces las heces se secarán rápidamente, ya que la humedad es transportada y compartida con el material secante. El pH alto de la ceniza y la cal junto a una rápida reducción del nivel de humedad de las heces significa que la degradación biológica es pequeña si se ha usado suficiente aditivo. Así, las pérdidas de materia orgánica y N de la mezcla fecal son pequeñas.

En el proceso de secado, todos los nutrientes excepto el N y la mayoría de la materia orgánica son conservados. Algún N se pierde como amoníaco y algo de materia orgánica fácilmente degradable también se degrada y se pierde como dióxido de carbono y agua. Sin embargo, si el secado es rápido las pérdidas son pequeñas ya que la degradación biológica adicional se reduce y cesa cuando el nivel de humedad decrece a niveles bajos. En este caso, solamente una parte de la materia orgánica soluble en agua y del N, inicialmente alrededor del 50% del N total (Trémolières et al., 1961), corren el riesgo de perderse. Si el secado es lento, ocurrirá una mayor degradación biológica y por consiguiente habrá mayores pérdidas de materia orgánica y N.

Tratamiento Secundario

Orina

El almacenamiento de la orina por separado es un método de tratamiento secundario sencillo y económico. En el tanque de almacenamiento ocurren los mismos procesos que en el tanque de recolección. Mientras el tanque tenga una presión equilibrada y no sea ventilado, no se producirán pérdidas de nutrientes ni cambios en su disponibilidad. El contenido de P de los sedimentos inferiores es alto y puede ser usado para plantas cuya demanda de P es elevada, caso contrario este deberá ser mezclado con el resto del contenido del tanque antes de la aplicación, para proveer una dosis uniforme.

La higienización que se da cuando la orina es almacenada por separado no puede ser

confiable cuando la orina es almacenada conjuntamente con heces, puesto que las heces aumentan el número de patógenos, y la capacidad de amortiguamiento y la materia orgánica. Es así, que al mezclar la orina con las heces, esto aumenta simultáneamente la necesidad de higienización y reduce el efecto de higienización a tal punto que no puede confiarse en este.

Heces

El N y S son nutrientes que podrían perderse durante el tratamiento secundario. Los factores que influyen su destino son la cantidad de aireación y degradación que ocurre en el tratamiento.

Heces – incineración

La incineración es un proceso aeróbico con una degradación completa de la materia orgánica. Por lo tanto, si las heces son exitosa y completamente incineradas, básicamente se perderá todo el N y el S en las emanaciones de gas, mientras prácticamente todo el P y el K permanecerán en la ceniza. Al igual que la ceniza vegetal, la ceniza de la incineración exitosa es un concentrado y un fertilizante higiénico con alto contenido de P y K. Para utilizar de mejor manera se debe aplicar cuidadosamente este fertilizante concentrado (véase en la sección “Heces”, subsección “Técnicas de aplicación” abajo).

Heces - compostaje

Compostaje termofílico

El compostaje termofílico, así como la incineración, es un proceso aeróbico que depende del calor de la materia orgánica en descomposición para alcanzar la temperatura deseada, $> 50^{\circ}\text{C}$, durante un número de días que asegure una reducción segura de patógenos (Vinnerås et al., 2003a; Schönning y Stenström, 2004). Una alta tasa de descomposición es necesaria si la composta debe llegar a esta temperatura elevada. La descomposición requiere de mucho oxígeno y el peso total de aire necesario para el proceso de compostaje es usualmente varias veces el del sustrato (Haug, 1993). En un compostaje exitoso, el pH del sustrato aumenta a 8-9, incluso si el pH inicial es bajo (~ 5) (Eklind y Kirchmann, 2000; Beck-Friis et al., 2001, 2003). El incremento de pH se debe en gran parte al N orgánico (proteína) que se degrada y forma amoníaco (Haug, 1993; Beck-Friis et al., 2003).

La combinación del amoníaco, una temperatura elevada, un pH alto y una aireación elevada significa que el N en forma de amoníaco se pierde. Estas pérdidas disminuyen de alguna manera si la relación C/N del sustrato aumenta mediante el uso de aditivos altos en carbono, por ejemplo, hojas, paja o papel. Sin embargo, si la relación C/N se vuelve muy alta ($>30-35$), entonces el proceso de compostaje es más lento, perjudicando el alcance de las temperaturas requeridas. Con relaciones de C/N que dan como resultado un compostaje exitoso, las pérdidas de N generalmente son del rango del 10-50% (Eklind y Kirchmann, 2000; Jönsson et al., 2003). Si la orina de la letrina y las heces son compostadas conjuntamente en lugar de únicamente las heces, entonces la entrada de N en la composta aumenta de 3-8 veces y la mayoría del N de la orina se pierde, ya que está básicamente en forma de amoníaco, que escapa fácilmente del compostaje aerobio.

La fracción principal (entre 90-95%) del N en la composta final es N orgánico (Sonesson, 1996; Eklind y Kirchmann, 2000). Este N orgánico se vuelve disponible para las plantas solamente si es degradado adicionalmente en el suelo. El N remanente, 5-10% del total, es amonio y nitrato, que están disponibles directamente para las plantas.

La disponibilidad de K, S y P en el material compostado es alta. Si existen fugas de lixiviados durante o después del proceso, debido a la lluvia o a un sustrato húmedo, entonces la mayoría de las fracciones disponibles de estos nutrientes se perderán. Por lo tanto, es importante que el compostaje sea manejado de tal manera que no se permita el escape de lixiviados.

Un sustrato basado completamente en heces no es normalmente suficiente para alcanzar temperaturas termofílicas, especialmente si las heces han sido mezcladas con ceniza o cal. Es necesario añadir sustratos fácilmente degradables, generalmente en cantidades muchas veces mayores a la cantidad de heces. Este sustrato suplementario puede consistir, por ejemplo, de residuos de los mercados de alimentos, desperdicios industriales de fácil descomposición o residuos de la cocina separados en la fuente. Estas adiciones afectan las concentraciones de nutrientes en la composta. A más de esto, se requiere una operación y mantenimiento excelentes para alcanzar la operación termofílica.

Compostaje a bajas temperaturas

El compostaje mesofílico y la descomposición aerobia a temperaturas ambientales, aquí llamados colectivamente como compostaje a bajas temperaturas, son mejor caracterizados como variantes a baja temperatura del compostaje termofílico y estos procesos son de igual manera aeróbicos. Los productos de estos procesos son, cuando maduros, igual de degradados que los del compostaje termofílico y los productos finales de la descomposición aerobia a estas temperaturas, dióxido de carbono y agua son también iguales. El pH final y las pérdidas de N total son también similares, 10-50%, a las del compostaje termofílico (Eklind y Kirchmann, 2000), como es probablemente la disponibilidad del producto final para las plantas. Las dos diferencias principales entre los dos tipos de procesos de compostaje son: primero que la higienización alcanzada mediante altas temperaturas en el compostaje termofílico no se da en el compostaje a bajas temperaturas, y segundo que la necesidad adicional de sustrato fácilmente degradable, así como de entradas extensivas de operación y mantenimiento es menor.

La descripción anterior de la descomposición aerobia en gran medida tiene lugar también cuando el proceso se lleva a cabo en el suelo, como es el caso del Arbor Loo y Fosa Alterna (véase la nota al pie de la Tabla 5). La pérdida de amoníaco de estos procesos puede, sin embargo, ser menor que la del compostaje sobre el suelo, ya que algo de amoníaco podría dispersarse en el suelo circundante, ser disuelto en el suelo mojado y posiblemente ser utilizado por las plantas. Es especialmente ventajoso si algún cultivo es plantado en el pozo del Arbor Loo o de la Fosa alterna. El cultivo requiere humedad para sobrevivir, lo que significa que el amoníaco que se dispersa hacia arriba es también disuelto en suelo mojado y utilizado por las plantas. No obstante, existe un riesgo de pérdidas de N por lixiviados durante la recolección y el procesamiento en los pozos. Este riesgo incrementa probablemente con el tamaño del pozo y con la cantidad de orina depositada en él. Para letrinas convencionales, esta pérdida, en el este de Bostwana, ha sido bien cuantificada y varía entre 1 y 50% (Jacks et al., 1999).

Se ha realizado un trabajo extensivo en Zimbabwe en compostaje a bajas temperaturas de heces (Morgan, 2003). Análisis del humus extraído de los pozos superficiales donde se añadió suelo a la combinación de las heces y orina y se permitió compostar, muestra un material rico en la todos los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas, en comparación con la capa vegetal normal.

Tabla 5. Análisis del humus compostado derivado del suelo del pozo de una Fosa Alterna y del humus del Skyloo comparados con un promedio de diversas capas vegetales luego de dos semanas de incubación

Procedencia del suelo	pH	min-N ppm mg/Kg	P ppm mg/Kg	K ppm mg/Kg	Ca ppm mg/Kg	Mg ppm mg/Kg
Capa vegetal local (promedio de 9 muestras)	5,5	38	44	195	3200	870
Skyloo humus (promedio de 8 muestras)	6,7	232	297	1200	12800	2900
Suelo del pozo de <i>Fosa alterna</i> (promedio de 10 muestras)	6,8	275	292	1750	4800	1200

El N mineral fue analizado mediante el proceso de Kjeldahl para el N mineral (nitrito, nitrato y amonio). La clasificación de los suelos locales en Zimbabwe cataloga: menos de 20 ppm como baja, 20-30 como media, 30-40 como adecuada y ≥ 40 ppm como “buena”. Consecuentemente, los suelos producidos por el Skyloo y la Fosa Alterna son muy ricos en esta escala en minerales, N disponible para las plantas. Las muestras de capa vegetal usadas en la tabla de arriba están dentro de un rango adecuado.

El P fue analizado con el proceso de extracción de resina. Este muestra el P disponible, no el P total. Menos de 7 ppm es catalogado como bajo, 7-15 marginal, 15-30 medio, 30-50 adecuado, 50-66 bueno, 67-79 muy bueno y ≥ 80 ppm como alto. Los suelos generados por el Skyloo y la Fosa Alterna son muy altos en P.

Ca, Mg y K fueron extraídos con acetato de amonio.

La Fosa Alterna es un sistema de inodoro de doble fosa en el cual tierra, cenizas, hojas y excreta (orina más heces) son depositados en uno de los dos fosas poco profundos (generalmente alrededor de 1,2 m de profundidad). El uso de las fosas se alterna en intervalos de 12 meses, opera únicamente una fosa a la vez, mientras que la segunda fosa está en proceso de compostaje. Se requiere más o menos un año o más para que una familia llene una fosa con la mezcla de los ingredientes antes mencionados. Es así, que este sistema permite una operación continua cíclica, con la excavación de humus cada año y el uso alternativo de las fosas cada año. El Skyloo es un inodoro desviador de orina de una sola cámara donde la orina es conducida hacia fuera y recolectada para su uso posterior como fertilizante para las plantas y las heces caen dentro de un contenedor, como un balde, en la cámara poco profunda. Se añade luego de cada defecación tierra y cenizas vegetales a las heces. Cuando el balde está casi lleno, su contenido es movido a un sitio de compostaje secundario donde se añade más tierra y la mezcla se mantiene húmeda. Este proceso da como resultado una composta valiosa dentro de un tiempo.

Heces - almacenamiento

Otra alternativa de tratamiento secundario es el almacenamiento en un estado seco al ambiente o a una temperatura mayor. La reducción de patógenos aumenta con el incremento de la temperatura ambiental (Moe e Izurieta, 2004). Si el nivel de humedad se mantiene bajo, $>20\%$ durante todo el almacenamiento, entonces la degradación es baja y las pérdidas de N y materia orgánica también. Estas sustancias son conservadas y, después de la incorporación en el suelo y el humedecimiento, ellas son degradadas de la misma manera que el material en un compostaje mesofílico o en un Arbor Loo. Adicionalmente, puesto que la degradación tiene lugar en pequeños volúmenes en suelo húmedo con una planta sembrada, el riesgo de pérdida de amoníaco o pérdidas por lixiviados es virtualmente nulo.

Heces - digestión

La digestión anaerobia a temperaturas termofílicas, mesofílicas o ambientales es otra opción para el tratamiento secundario de las heces. Los digestores son cerrados y todas las sustancias que entran salen de ellos, ya sea con el biogas y/o con los residuos de digestión. En la digestión, una gran parte de materia orgánica se degrada a biogas (metano y dióxido de carbono). Una gran cantidad de S orgánico es mineralizado de las proteínas y algo de ello deja el proceso como ácido sulfhídrico contaminando el biogas. Una gran porción del N orgánico es mineralizada de

las proteínas y así el N de los residuos consiste en gran parte (50-70%) de amonio (Berg, 2000), el remanente es N orgánico. El amonio está disponible directamente para las plantas y la disponibilidad de los otros nutrientes para las plantas es también buena. Los residuos de la digestión deben ser manipulados cuidadosamente para no perder el amonio como gas amoníaco.

Heces – higienización química

La higienización de las heces puede ser alcanzada mezclándolas con urea. La urea es degradada a amonio por la ureasa que ocurre naturalmente en las heces. Por lo tanto, este proceso probablemente funciona mejor si las heces están en forma de lodo, que puede ser mezclado. En el lodo, el equilibrio es establecido entre el amonio y el amoníaco (Ecuación 7). El amoníaco es tóxico para los microbios y la reducción de patógenos es muy buena en el proceso (Vinnerås et al., 2003b). Las adiciones de ceniza y cal que incrementan el pH durante el tratamiento primario empujan la Ecuación 7 al lado derecho y por tanto se incrementa el efecto higienizante. Este tratamiento debe ser realizado en un contenedor cerrado. El proceso es similar al almacenamiento, en este no ocurre degradación de las heces y consecuentemente no se pierden ni materia orgánica ni N. Son dejados para que los microbios en el suelo prosperen luego de la aplicación del lodo como fertilizante. El contenido de amonio de este lodo es mayor al que existe en la orina y en los residuos de la digestión. Por ende, es un excelente fertilizante, pero al igual que los residuos de la digestión debe ser manipulado con cuidado para evitar pérdidas de amoníaco.

Recomendaciones para el Uso de la Orina y las Heces en los Cultivos

Un punto de inicio al decidir la dosis de aplicación de la orina y las heces son las recomendaciones locales para el uso convencional del N (preferentemente urea o fertilizantes de amonio) y fertilizantes de fósforo². Si no existen recomendaciones locales disponibles, se puede estimar las cantidades de nutrientes absorbidos por el cultivo. En la Tabla 6 se presenta la remoción por tonelada de fracción comestible cosechada para algunos cultivos. Estas cantidades deben ser multiplicadas por la cosecha estimada para obtener las cantidades de nutrientes absorbidos.

Tabla 6. Cantidades de N, P y K (Kg/ha) removidas por tonelada de fracción comestible cosechada para los diferentes cultivos (Autoridad de Alimentos de Suecia, 2004)

Cultivo	Cantidad Kg/ha	Contenido de agua %	N Kg/ha	P Kg/ha	K Kg/ha
Cereales					
Maíz, seco*	1000	10	15.1	2.1	2.9
Maíz, fresco	1000	69	6.2	1.1	2.9
Mijo	1000	14	16.8	2.4	2.2
Arroz, sin pilar	1000	12	12.4	3.0	2.3
Sorgo	1000	11	17.6	2.9	3.5
Trigo	1000	14	17.5	3.6	3.8
Otros					
Judías verdes, frescas	1000	90	2.9	0.4	2.4

² Véase las secciones “Orina” y “Heces” más abajo por mayor información sobre las tasas de aplicación.

Papas	1000	80	2.9	0.3	4.7
Lentejas, secas	1000	12	38.4	3.8	7.9
Cebollas	1000	91	1.9	0.4	1.9
Calabaza	1000	92	1.6	0.4	3.4
Fréjol, seco	1000	11	35.2	4.1	9.9
Soya, seca	1000	10	59.5	5.5	17.0
Espinaca	1000	94	3.0	0.3	5.6
Tomates	1000	93	1.4	0.3	2.1
Sandía	1000	91	1.0	0.1	1.2
Col	1000	92	2.2	0.3	2.7

* USDA, 2004.

Cabe recordar que una tasa de aplicación correspondiente a la cantidad de nutrientes removidos por la fracción comestible del cultivo es menor que la tasa de aplicación necesaria para obtener la mayor producción del cultivo, especialmente en suelos con baja fertilidad. El fertilizante suministrado debe proveer nutrientes para las raíces, el cultivo y los residuos del cultivo removidos del campo; existen generalmente pérdidas adicionales de N, K y S en particular a través de los lixiviados, y de N también por volatilización. Algunos nutrientes son perdidos también si los residuos del procesamiento del cultivo no son devueltos al campo como fertilizante. Otro aspecto importante es que el P añadido es usualmente absorbido por el suelo, especialmente si el suelo es pobre en P. Por lo tanto, las cantidades calculadas de la Tabla 6 establecen el nivel de aplicación mínimo necesario para mantener la fertilidad. Tasas de aplicación más altas, a menudo del doble, son necesarias para incrementar simultáneamente la fertilidad del suelo, que es necesaria para obtener una alta producción en suelos pobres. No obstante, si el N es suministrado a cultivos fijadores de N, por ejemplo, fréjol y arbejas, su habilidad fijadora de N será subutilizada.

ORINA

Consideraciones generales

La orina es una fuente valiosa de nutrientes, usada desde tiempos antiguos para aumentar el crecimiento de las plantas, especialmente de las verduras de hojas. Existen diferentes maneras de usar la orina. La manera más obvia es usar la orina directamente para fertilizar los cultivos y este es el uso para el cual se dan recomendaciones más abajo. Otra posibilidad, que conlleva pérdidas considerables de amoníaco, es usar la orina para mejorar el proceso de compostaje de los sustratos ricos en carbono. Recomendaciones para el uso de compostas son presentadas en la sección “Heces”. Una gran diversidad de opciones para el proceso de secado o de la concentración de la orina han sido presentadas, pero el uso de estos productos no es tratado en este texto.

El siguiente texto supone que la orina se maneja de acuerdo a los lineamientos dados en materia de higiene para la orina (Schönning y Stenström, 2004).

Efecto fertilizador de la orina

La orina usada directamente o luego del almacenamiento es una alternativa de alta calidad y bajo costo a la aplicación de fertilizantes minerales ricos en N en la producción vegetal. Los nutrientes en la orina están en forma iónica y su disponibilidad para las plantas es comparable con la de los fertilizantes químicos (Johansson et al., 2001; Kirchmann y Pettersson, 1995; Kvarmo, 1998; Richert Stintzing et al., 2001). La orina se aprovecha mejor como fertilizante

directo para cultivos con alta demanda de N y verduras de hojas. Si existen recomendaciones para el uso de fertilizantes de N (urea, amonio o nitrato) en cultivos y en una región específica, un buen inicio para saber como usar la orina es extrapolar estas recomendaciones a la orina. La extrapolación se simplifica si la concentración de N contenida en la orina es conocida. Si no lo son, entonces una regla general es usar una concentración de 3-7 gramos de N por litro de orina (Vinnerås, 2002; Jönsson y Vinnerås, 2004). La orina contiene también grandes cantidades de P y K, pero debido a su alto contenido de N, sus relaciones P/N y K/N son más bajas que en muchos fertilizantes minerales usados para la producción vegetal.

La producción alcanzada cuando se fertiliza con orina varía en función de muchos factores. Un aspecto importante es la condición del suelo. El efecto de la orina, así como el de los fertilizantes químicos, es de alguna manera menor en un suelo con un bajo contenido orgánico que en un suelo con un alto contenido orgánico. La experiencia demuestra que es beneficioso para la fertilidad de los suelos aplicar tanto la orina y las heces u otros fertilizantes orgánicos en el suelo, pero deben ser aplicados en años diferentes y para diferentes tipos de cultivos.

Dilución

La orina puede ser aplicada pura (sin diluir) o diluida con agua, lo que se practica en muchos lugares. El factor de dilución varía aproximadamente entre 1:1 (1 parte de agua por 1 parte de orina) a 10:1, el más común parece ser 3:1. La dilución implica un incremento del volumen que será aplicado y así el trabajo, el equipo necesario, la energía usada y el riesgo de compactación del suelo se incrementan.

La dilución tiene la ventaja de disminuir, o eliminar, el riesgo de una sobre fertilización, de aplicar la orina en dosis tan altas que se vuelva tóxica para el cultivo. Sin embargo, independientemente de si la orina se aplica diluida o pura, la orina es un fertilizante y debe, así como los fertilizantes químicos muy concentrados, ser aplicada en las dosis correspondientes de aplicación de N deseado, aunque se debe añadir agua de acuerdo a las necesidades de las plantas. Por lo tanto, la orina se puede aplicar pura o incluso concentrada en la tierra, que luego será irrigada de acuerdo a los requerimientos de agua del cultivo. La orina también puede ser diluida en el agua de riego a una tasa que dependerá de las necesidades de nutrientes y el agua del cultivo. La aplicación de una mezcla de agua/orina generalmente requiere ser dispersada mediante irrigación con agua solamente.

La orina diluida debe ser manipulada de la misma manera que la orina. Para evitar malos olores, pérdidas de amoníaco, generación de aerosoles, quemaduras y posible contaminación en las plantas por patógenos remanentes, la orina deberá ser aplicada cerca, o incorporada en la tierra. La fertilización foliar no se recomienda.

En áreas donde la salinización del suelo es un problema, se recomienda la fertilización con orina únicamente si esta proporciona un buen aumento en la producción. Si la salinización es el factor más limitante, se necesitan otras mejoras para incrementar la fertilidad del suelo que la aplicación de la orina.

Tiempo de aplicación

En las etapas iniciales de siembra, una buena disponibilidad de todos los nutrientes es importante para incentivar el crecimiento. En la producción de cultivos a gran escala, la estrategia normal de fertilización es la aplicación de nutrientes una o dos veces por temporada de crecimiento. Si el fertilizante se aplica solamente una vez, esto deberá ser realizado

generalmente antes o al momento de sembrar. Si el cultivo es fertilizado dos veces, la segunda fertilización puede realizarse después de aproximadamente una cuarta parte del tiempo transcurrido entre la siembra y la cosecha, variando esto según las necesidades del cultivo.

El cultivo también puede ser fertilizado continuamente, por ejemplo, si la orina es recolectada en contenedores pequeños, y usada más o menos directamente. Sin embargo, una vez que el cultivo entre en su etapa reproductiva difícilmente tomará más nutrientes. Un ejemplo es el maíz, el fertilizante aplicado hasta antes de que la planta produzca espigas es bien utilizado, pero después de esta etapa la absorción de nutrientes del suelo disminuye, ya que en esta etapa los nutrientes son trasladados principalmente dentro de la planta (Marschner, 1997). Esto se aprecia completamente en las recomendaciones del uso de fertilizantes químicos. Por ejemplo, en Zimbabwe, donde el maíz es cosechado de 3-5 meses después de la siembra, la recomendación es fertilizar el maíz tres veces, pero a más tardar 2 meses después de haber sido sembrado.

Como regla general, la fertilización debería parar como máximo entre las dos terceras y tres cuartas partes del tiempo transcurrido entre la siembra y la cosecha. Algunas verduras, especialmente las de hojas, son cosechadas antes de alcanzar su etapa reproductiva y por tanto el fertilizante aplicado cerca del tiempo de cosecha puede ser utilizado. Sin embargo, un tiempo de espera de un mes entre la fertilización y la cosecha es muy ventajoso desde el punto de vista higiénico y es recomendado para todos los cultivos de consumo crudo (Schönning y Stenström, 2004).

Un aspecto recalcado a menudo es el riesgo de lixiviación de los nutrientes. En regiones donde hay fuertes lluvias durante la etapa de cultivo, la aplicación repetida de orina podría ser un seguro contra la pérdida de todos los nutrientes en un evento de lluvia. Cabe recordar que la lixiviación después de la fertilización es pequeña en comparación con la lixiviación de una letrina o de dejar que la orina desviada se infiltre en la tierra cerca del inodoro.

La cantidad total de orina aplicada y su número de aplicaciones dependerán de la necesidad de N de las plantas y del tamaño de sus raíces. El tamaño de las raíces varía ampliamente entre los diferentes tipos de cultivos (Figura 3). Las plantas con sistemas de raíces ineficientes o pequeños, por ejemplo, las zanahorias, las cebollas y la lechuga pueden beneficiarse de repetidas aplicaciones de orina durante el tiempo de cultivo (Thorup-Kristensen, 2001).

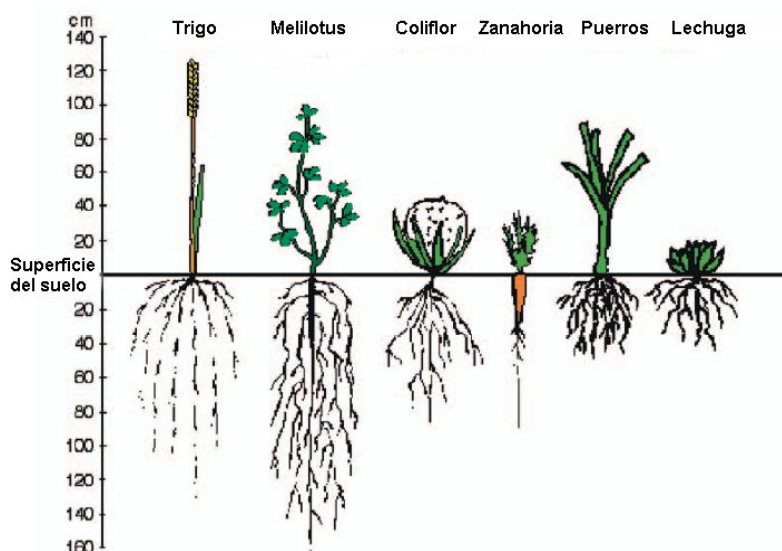


Figura 3. Tamaño de las raíces de los cultivos de hortalizas. Dibujo: Kim Gutekunst, JTI.

Almacenamiento en el suelo

En regiones donde existen períodos definidos de siembra seguidos de períodos secos, el almacenamiento de los nutrientes de la orina en el suelo es una alternativa, si la capacidad de almacenamiento es insuficiente. Esto se lleva a cabo mediante la aplicación e incorporación de la orina en el suelo durante la estación seca, seguida del cultivo normal durante la estación de siembra. La idea es que la porción principal de nutrientes permanezca en el suelo y esté disponible para las plantas durante la etapa de crecimiento. Para determinar las pérdidas y la disponibilidad de nutrientes, especialmente del N, para los cultivos durante y después de dicho almacenamiento se requiere investigar más a fondo. Resultados de la Sociedad de Desarrollo Urbano de África Oriental (SUDEA por sus siglas en inglés) en Etiopía, así como en Zimbabwe, indican que el método es una alternativa interesante a almacenar la orina en contenedores hasta la temporada de siembra, a pesar de que la pérdida de N podría ser bastante elevada. Durante un experimento de este tipo, donde los nutrientes de la orina fueron almacenados durante 28 días en el suelo, la pérdida de N mineral fue del orden del 37% (Sundin, 1999). Una ventaja adicional del almacenamiento en el suelo es que el trabajo de aplicar la orina es realizado durante la estación seca, donde generalmente la demanda de trabajo es menor que la estación de siembra.

Técnicas de aplicación

Para un mejor efecto fertilizante y para evitar las pérdidas de amoníaco, la orina debe ser incorporada en el suelo tan pronto como sea posible luego de la aplicación, instantáneamente de ser factible (Johansson et al., 2001; Richert Stintzing et al., 2001; Rodhe et al., 2004). Una incorporación superficial es suficiente, varios métodos pueden ser aplicados. Uno es aplicar la orina en pequeños surcos que son cubiertos luego de la aplicación. Otra opción es infiltrar los nutrientes en el suelo mediante el riego.



Figura 4. La aplicación de la orina se hace fácilmente con una regadera. Hortalizas fertilizadas con orina, Suecia. Foto: Håkan Jönsson, SLU.

Al aplicar la orina, no se la debe aplicar en las hojas o en otras partes de las plantas, ya que esto podría causar quemaduras foliares debido a las altas concentraciones de sales al secar. La aspersión de la orina en el aire debe, de igual manera, ser evitada debido al riesgo de pérdida de N por emisiones gaseosas de amoníaco (Johansson et al., 2001; Rodhe et al., 2004) y el riesgo

higiénico de los aerosoles.

El riego por goteo utilizando orina como fertilizante es otra técnica de aplicación potencial. Sin embargo, cuando se usa esta técnica, se debe tomar medidas para evitar las obstrucciones causadas por la precipitación de las sales que forman los sedimentos ya que la cantidad total de precipitación suele aumentar después de la dilución puesto que el agua generalmente contiene magnesio y calcio.

Algunos cultivos, por ejemplo, los tomates, son sensibles a tener sus raíces expuestas a la orina, por lo menos cuando las plantas son pequeñas, mientras que en muchos cultivos no se observan efectos negativos en absoluto. Por lo que, antes de conocer la sensibilidad de un cultivo, es preferible no exponer a la vez las raíces de la planta a la orina, ya sea pura o diluida. En lugar de ello, la orina puede ser aplicada antes de la siembra o a cierta distancia de las plantas para que los nutrientes estén al alcance de las raíces, pero las raíces no estén sumergidas. Para plantas anuales esta distancia puede ser 10 cm.

Dosis de aplicación

Un punto inicial para el dimensionamiento de la aplicación de orina son las recomendaciones locales para el uso de fertilizantes minerales de N, preferiblemente urea o fertilizantes de amonio. Si estas recomendaciones no están disponibles, se puede estimar las cantidades de los nutrientes removidos por el cultivo, las cuales están dadas en la Tabla 6 para algunos cultivos.

La orina puede ser recomendada para la mayoría de cultivos. Al ser especialmente rica en N, es aconsejable dar prioridad a los cultivos que tienen un gran valor y responden bien al N, como la espinaca, coliflor, plantas ornamentales y maíz. No obstante, no existe ninguna razón para no usar la orina, si existe suficiente, como fertilizante en otros cultivos, ya que las experiencias en todo el mundo muestran buenos resultados.

Experiencias

La orina humana ha sido usada como fertilizante en jardines a pequeña escala por largo tiempo en muchos lugares alrededor del mundo, pero, este uso no está documentado (Figura 5).



Figura 5. Grosellas espinosas, grosellas negras y rosas fertilizadas con orina en un jardín en Uppsala, Suecia. Foto: Håkan Jönsson, SLU.

La orina se ha probado como fertilizante en cultivos de lechuga en invernadero en México (Guadarrama et al., 2002). Existen ensayos comparando la orina con la composta, la mezcla de orina y composta y sin fertilizante alguno. La dosis de aplicación fue de 150 Kg de N total por hectárea en todos los ensayos, excepto para la muestra sin fertilizante. La orina dio la mejor producción de lechuga, a causa de su alta disponibilidad de N. Se reportaron resultados parecidos para otros cultivos de hortalizas.

La orina fue probada como fertilizante en cebada en Suecia durante 1997-1999 (Johansson et al., 2001; Richert Stintzing et al., 2001; Rodhe et al., 2004). Los resultados demostraron que el efecto del N de la orina correspondió aproximadamente al 90% de el de cantidades iguales de fertilizantes minerales de nitrato de amonio.

En ensayos de campo en granjas orgánicas durante 1997-1999, la orina humana fue probada como fertilizante en granos de primavera y trigo de invierno (Lundström y Lindén, 2001). Para el trigo de invierno, las aplicaciones de orina se realizaron en la primavera en el cultivo en crecimiento. Se realizó una comparación con gallinaza seca y carne + harina de huesos. La orina humana correspondiente a 40, 80 y 120 Kg N/ha aumentó la producción de grano de trigo de invierno en un promedio de 750, 1500 y 2000 Kg/ha, respectivamente. La gallinaza seca produjo un incremento en la producción de, en promedio, alrededor de 600, 1100 y 1500 Kg/ha, respectivamente. La carne seca + harina de huesos ocasionaron el menor incremento en la producción, alrededor de 400, 800 y 1200 Kg/ha, respectivamente. En promedio para los tres niveles de fertilización de N, el incremento de la producción del trigo de invierno fue 18 Kg de grano por Kg de N para la orina humana, 14 Kg para la gallinaza seca y 10 Kg para la carne+harina de huesos. Estos datos muestran que la disponibilidad de N en la orina para las plantas es mayor que en la gallinaza y en la carne + harina de huesos, lo cual es de esperar ya

que la gallinaza y la carne + harina de huesos tienen una fracción mayor de N orgánico. Para el trigo de primavera, la producción incrementó y la utilización de N fue menor, probablemente debido a los altos niveles de N disponible para las plantas en el suelo al inicio de la etapa de cultivo.



Figura 6. Aplicando la orina antes de sembrar la cebada, así como la cebada fertilizada con orina en la etapa inicial. Foto: Mats Johansson, VERNA.

La orina ha sido probada como fertilizante en cebada y praderas en invernadero y ensayos de campo en Alemania (Simons y Clemens, 2004). La orina en algunos ensayos fue acidificada para reducir las emisiones de amoníaco y la contaminación microbiana. Los resultados de los ensayos de campo demostraron que el efecto fertilizante de la orina era más alto que el del fertilizante mineral en la producción de cebada. No existió diferencia en la producción entre los terrenos fertilizados con orina acidificada y orina no tratada.

Se ha experimentado con orina como fertilizante en cultivos de acelgas en Etiopía (Sundin, 1999). La producción de los terrenos fertilizados fue hasta cuatro veces la de los terrenos sin fertilizar. La orina ha sido probada también como fertilizante en cultivos de algodón y sorgo en Mali (Dembele, com. pers.). Los resultados son prometedores y los ensayos continuaron durante el 2004.

Se ha probado la orina como fertilizante en cultivos de amaranto en México (Clark, com. pers.). Los resultados demuestran que una combinación de orina y gallinaza da la mayor producción, 2.350 Kg/ha. La gallinaza sola da una producción de 1.900 Kg/ha. La orina humana aplicada sola genera una producción de 1.500 Kg/ha y la muestra de control sin fertilizar dio una producción de 875 Kg/ha. La cantidad de N aplicada fue de 150 Kg N/ha en los tres ensayos. Un muestreo del suelo demostró que no existen diferencias entre los ensayos en lo que respecta a las características físicas o químicas.

En un ensayo de campo en Suecia en el 2002, se probaron diferentes estrategias de aplicación de la orina como fertilizante en puerros (Båth, 2003). El fertilizar con orina incrementó la producción al triple. Ni la producción ni la absorción de nutrientes se vio considerablemente afectada por el hecho de si la misma cantidad total de orina fue aplicada en dos dosis o dividida en pequeñas dosis aplicadas cada 14 días. La eficiencia del N (es decir el rendimiento del N – (rendimiento del N en parcelas no fertilizadas)/N añadido), al usar orina humana fue alta, yendo desde 47% hasta 66%. Esto está en el mismo nivel que cuando se usan fertilizantes minerales.

La eficiencia de N de la mayoría de otros fertilizantes orgánicos, por ejemplo, de la composta, está generalmente entre 5 y 30%.

Tabla 7. Resultados de los experimentos de campo usando orina humana como fertilizante para puerros. No existió una diferencia estadística significativa entre los ensayos A, B y C (según Bâth, 2003)

Ensayo	Dosis de N Kg/ha**	Producción ton ha*	Producción N Kg/ha**
A orina cada 14 días	150	54	111
B orina dos veces	150	51	110
C orina cada 14 días + potasio extra	150	55	115
D Sin fertilizar	0	17	24

* ton/ha= Kg/10 m²

** Kg/ha= gr/10 m²



Figura 7. Ensayos de campo usando orina como fertilizante en puerros. Foto: Anna Richert Stintzing, VERNA.

Se han llevado a cabo ensayos con orina con varios tipos de hortalizas en Zimbabwe (Morgan, 2003). Las plantas fueron cultivadas en baldes de cemento de 10 litros y alimentadas con medio litro de una mezcla de agua/orina con una relación 3:1 tres veces por semana. Se cultivaron testigos sin fertilizante para comparación. El incremento en la producción fue grande pero no se realizó un análisis estadístico.



Figura 8. Las espinacas de la izquierda no fueron fertilizadas. Las espinacas de la derecha fueron fertilizadas con orina diluida, en tres partes de agua por una de orina, aplicada dos veces por semana. Foto: Peter Morgan, Aquamor.

Tabla 8. Producción promedio (gramos de peso fresco) en ensayos en hortalizas fertilizadas con orina en Zimbabwe (Morgan, 2003)

Plantas, período de crecimiento y número de repeticiones n	Plantas sin fertilizar g	Fertilizadas, 3:1 agua/orina aplicación 3x por semana g	Producción relativa fertilizadas a sin fertilizar
Lechuga, 30 días (n = 3)	230	500	2.2
Lechuga, 33 días (n = 3)	120	345	2.9
Espinaca, 30 días (n = 3)	52	350	6.7
Covo, 8 semanas (n = 3)	135	545	4.0
Tomate, 4 meses (n = 9)	1680	6084	3.6

HECES

Consideraciones generales

Mientras la cantidad total de nutrientes excretados con las heces es menor que con la orina, la concentración de nutrientes, y especialmente P y K es más alta en las heces y, al ser usada como fertilizante, la materia fecal puede incrementar significativamente la producción de las plantas. El P es particularmente valioso para la planta en su desarrollo inicial e importante para un buen desarrollo de las raíces. A más de proveer macro y micronutrientes, las heces contienen materia orgánica, que aumenta la capacidad de retención del agua y la capacidad de amortiguamiento del suelo, sirve como alimento para los microorganismos y es importante para mejorar la estructura del suelo. Sin embargo, el riesgo de altas concentraciones de patógenos en las heces es grande y por lo tanto es importante que las heces sean manipuladas de tal manera que los riesgos de transmisión de enfermedades sean mínimos. Se deben seguir los lineamientos de higiene relevantes (Schönning y Stenström, 2004).

Efecto fertilizador

Cabe señalar que las heces contribuyen a la producción del cultivo por su efecto fertilizante y

por su efecto mejorador del suelo. El efecto fertilizante de las heces varía mucho más que el efecto de la orina. Esto se da principalmente por que la cantidad de N que se encuentra en forma mineral en las heces varía considerablemente según la estrategia de tratamiento aplicada, como se mencionó anteriormente. Otra razón es que se usan diferentes aditivos en los tratamientos y estos aditivos contribuyen con el contenido total de nutrientes y materia orgánica en el producto fecal tratado. Finalmente, el contenido y las propiedades de la materia orgánica en las heces tratadas difieren mucho entre los distintos tratamientos.

El efecto mejorador del suelo consiste en incrementar la capacidad de amortiguamiento, la capacidad de retención de humedad y contribuir a la alimentación de la actividad microbiana. Todo esto está relacionado con la adición de materia orgánica y, en cierta medida, las sustancias minerales en la ceniza al suelo. El efecto mejorador del suelo varía de acuerdo a los mismos principios expuestos con anterioridad.

Cenizas

La incineración de las heces da como resultado una ceniza con un alto contenido de P y K así como de otros macro y micronutrientes. Sin embargo, el N y el S se pierden con la emanación de gas. Por lo tanto, las cenizas son un fertilizante de PK con micronutrientes y un pH elevado, que aumentan la capacidad de amortiguamiento del suelo. La disponibilidad de nutrientes para las plantas en la ceniza es buena siempre y cuando la temperatura de incineración no sea lo suficientemente alta como para derretir la ceniza. Si es así, la disponibilidad de nutrientes para las plantas probablemente se reduzca drásticamente.

La cantidad y contenido de ceniza que es generada en la incineración varía. Dependiendo del tratamiento primario seleccionado, se puede añadir cenizas, tierra, cal u otro material secante, lo que afecta la incineración. Se puede necesitar más combustible. La ceniza y la cal contribuyen a aumentar el efecto del pH en el producto, un efecto deseado ya que el pH de la mayoría de los suelos es menor al óptimo, 6-7 para la mayoría de cultivos. En suelos con un pH muy bajo (4-5) este es un efecto muy importante para la siembra y también para obtener el beneficio completo de la fertilización con, por ejemplo, orina, que ha sido demostrado tanto en Uganda como en Zimbabwe.

Composta de procesos de compostaje termofílico o a bajas temperaturas

En muchos aspectos, el compostaje funciona como una incineración lenta y parcial mediada por microbios. A menudo se pierde un 40-70% de la materia orgánica y algo menos de N. El N remanente es encontrado principalmente, alrededor del 90%, en forma orgánica y este sólo está disponible para las plantas según la tasa de degradación, que es lenta por que la materia orgánica restante es más estable que la materia orgánica inicial. Esta materia orgánica estable mejora la capacidad de retención de agua y de amortiguamiento del suelo. El P es también hasta cierto punto, pero no tanto como el N, encontrado en forma orgánica, mientras que el K se encuentra principalmente en forma iónica y, por tanto, a disposición de las plantas. La composta se debe aplicar como un fertilizante completo de PK o como un mejorador de suelo.

Las adiciones de residuos orgánicos en el proceso de compostaje, al igual que las adiciones realizadas en el tratamiento primario, obviamente afectan la cantidad y características de la composta.

Heces secas por deshidratación y almacenamiento

Si el secado es rápido y se logra un bajo nivel de humedad, las pérdidas tanto de materia orgánica como de N son pequeñas. La mayor parte de materia orgánica se conserva y en la aplicación mejora el suelo y sirve como alimento para los microbios del suelo. Es así, que en comparación con el compostaje, el almacenamiento en seco de las heces recicla más materia orgánica y N al suelo, pero la materia orgánica es menos estable. La materia fecal seca es un fertilizante completo en PK, que contribuye también con cantidades considerables de N.

Residuos de la digestión anaerobia

En la digestión anaerobia, se degrada aproximadamente la misma cantidad de materia orgánica que en el compostaje, 40-70%, pero el N mineralizado no se pierde, como sucede en el compostaje. En lugar de ello el N permanece como amonio en los residuos de la digestión. Alrededor del 40-70% del N encontrado en el residuo está en forma de amonio, que es fácilmente disponible para las plantas. Para la mayoría de cultivos los residuos de la digestión están bien balanceados, son de acción rápida y un fertilizante completo (Åkerhielm y Richert Stintzing, en publicación). En la mayoría de procesos de digestión, se añaden otros sustratos como estiércol y residuos orgánicos domésticos, que naturalmente afectan a la cantidad y la composición del residuo de la digestión.

Tratamiento químico con urea

Cuando las heces son tratadas con urea, el contenido de amoníaco se eleva a niveles altos, tan altos o inclusive más altos que en la orina pura. El alto contenido de P y K en las heces significa que se trata de un fertilizante bien balanceado y completo. Las heces tratadas con urea deben ser aplicadas de acuerdo a su contenido de N mineral. La adición de ceniza u otro aditivo durante el tratamiento primario contribuyen con las propiedades del producto.

Tiempo de aplicación

Indiferentemente de como han sido tratadas las heces, ellas deberán ser aplicadas antes de la siembra. Esto se debe a que las heces contienen grandes cantidades de P y la disponibilidad de P es muy importante para el buen desarrollo de las plantas pequeñas y de las raíces. Las heces deben ser aplicadas de tal manera que entren en contacto con la solución del suelo, que puede disolver y transportar los nutrientes a las raíces. Por tanto, los productos fecales deben ser bien incorporados en el suelo y esto debe ser realizado antes de la siembra para no perturbar a las plantas pequeñas.

Por último, las heces contienen inicialmente grandes cantidades de patógenos y, por consiguiente, es deseable colocar varias barreras entre ellas y la cosecha de alimentos, para minimizar el riesgo de transmisión de enfermedades mediante los cultivos alimenticios fertilizados con heces. El tratamiento secundario es una de estas barreras, y la aplicación y la cobertura cuidadosa de las heces tratadas antes de la siembra es otra barrera contra la transmisión de enfermedades. Una tercera barrera contra la transmisión de enfermedades es evitar usar las heces como fertilizante para hortalizas de consumo crudo. En climas con una estación seca antes de la etapa de cultivo, el producto fecal debería ser aplicado durante la estación seca o al final de la estación de crecimiento anterior.

Técnicas de aplicación

Dos de los mayores beneficios de las heces son su contenido de P y de materia orgánica. Para usarlas completamente, la materia fecal debe ser aplicada a una profundidad donde el suelo permanezca húmedo, ya que el P sólo está disponible para las plantas, en la medida en que se disuelve en el suelo mojado. De igual manera, la capacidad de retención de agua y la capacidad de amortiguamiento de la materia orgánica son utilizadas en toda su extensión solamente en condiciones húmedas. Es así que, el fertilizante fecal, indiferentemente de si es en forma de cenizas, composta, residuos de digestión o lodos tratados, debe ser aplicado a tal profundidad y de tal manera que esté totalmente cubierto por la capa superior del suelo. Sin embargo, la profundidad de enraizamiento de las plantas es limitada, y si las heces son aplicadas a profundidades que exceden la profundidad de las raíces, los nutrientes no estarán disponibles para las plantas.

La técnica de aplicación varía en función de la aplicación deseada. Si la tasa de aplicación deseada es alta, es decir, se dispone de grandes cantidades en relación con el área a ser fertilizada, las heces pueden ser sepultadas en el suelo en una capa que esté cubierta por la superficie del suelo no mezclada con ningún producto fecal, formando una cama. Si la tasa de aplicación es muy alta, es ventajoso si la capa se mezcla con suelo subyacente antes de ser cubierta por el suelo superficial. La excavación se usa a pequeña escala, mientras que a gran escala se prefiere el arado, ya que cubre bien el producto con suelo que no ha sido mezclado. Si la tasa de aplicación es baja, el producto fecal es preferible aplicarlo en surcos cubiertos por suelo sin mezclar. A más bajas tasas de aplicación, el producto fecal puede ser aplicado en agujeros cerca de donde serán sembradas las plantas. El tamaño de los surcos o agujeros depende del producto a ser aplicado. Ellos, naturalmente, tienen que ser más grandes si el producto a ser aplicado es deshidratado o heces almacenadas con un alto contenido de papel higiénico, que si se trata de cenizas. El producto fecal debe ser siempre bien cubierto y ser dispuesto de tal manera que esté al alcance de las raíces, pero no sea su único medio de cultivo.

El contenido de amoníaco de los residuos de digestión y de los lodos del tratamiento con urea es alto. Estos productos deben ser almacenados, manipulados y aplicados de tal manera que se reduzca al mínimo las pérdidas de amoníaco. Esto implica el almacenamiento en contenedores cubiertos y una rápida incorporación en el suelo. Las cenizas son un fertilizante concentrado y deben ser cuidadosamente distribuidas para utilizar su contenido de nutrientes de la manera más eficaz. Aplicar la ceniza uniformemente puede ser difícil. Esto se simplifica si se mezcla con un agente de abultamiento como la arena o el suelo seco.

El uso de heces en la producción de árboles es un ejemplo de cómo la aplicación en un agujero puede ser usada para cultivos perennes. Al plantar un árbol, las heces secas, compostadas o incineradas pueden ser usadas para mejorar la fertilidad del suelo. Una manera conveniente de aplicar las heces es mezclar con una pala de heces secas o compostadas el suelo del agujero que ha sido excavado para plantar el árbol. Esto estimulará el crecimiento inicial.



Figura 9. Sabtenga, Burkina Faso. Árbol de mango fertilizado con heces al momento de la siembra y con dosis de orina regularmente durante la etapa de crecimiento. Foto: Anna Richert Stintzing, VERNA.

Dosis de aplicación

Las tasas a las cuales la mayoría de productos fecales pueden ser aplicados varían notablemente. Los dos efectos más beneficiosos ha ser obtenidos de la mayoría de productos fecales son su suministro de P y de materia orgánica. Los principales beneficios de estos efectos son logrados con tasas de aplicación muy variadas. La excreción de P con las heces es grande, en Suecia alrededor de 0,2 y en China 0,2-0,3 Kg/persona por año, y si el P es aplicado a la tasa de absorción del cultivo, entonces la materia fecal de una persona es suficiente para fertilizar entre 200-300 m² de trigo con un nivel de producción de 3000 Kg/ha por persona. Sin embargo, en muchos lugares, el suelo está tan desprovisto de P que la tasa de aplicación recomendada es 510 veces la tasa de absorción, y en este caso la materia fecal de una persona en un año contendrá suficiente P para fertilizar 20-40 m². Así, en suelos con bajos niveles de P, la materia fecal de una familia de cinco personas puede suministrar 100-200 m² de trigo con P a un nivel de producción de 3000 Kg/ha. A esta alta tasa de aplicación, la mayoría de P permanecerá en el suelo, mejorándolo.

Cuando se trata del contenido de materia orgánica en el producto fecal, se necesitan tasas más altas de aplicación para alcanzar efectos en el sistema del suelo, que a su vez, den una producción mayor, como se muestra más abajo.

La cantidad de materia orgánica excretada en las heces, en varios países parece estar en el rango de 10 Kg (Suecia) a 20 Kg (China) por persona y año. Adicionalmente, en Suecia se usan cerca de 8 Kg/persona/año de papel higiénico. Si el papel higiénico se incluye en la composta fecal, la composta resultante, luego de las pérdidas de 40-70% de materia orgánica, contiene alrededor de 10 Kg de materia orgánica por persona y año tanto en China como en Suecia.

La materia seca de la capa vegetal de un metro cuadrado y 25 cm de profundidad pesa cerca de 300 Kg. Si el contenido inicial de la materia orgánica en el suelo es el 1%, entonces un metro cuadrado de capa vegetal contiene 3 kg de materia orgánica pura. Este nivel de materia orgánica es producto de las propiedades del suelo, de la historia de cultivo y del clima. Para

incrementar instantáneamente la materia orgánica del suelo a 3% es necesario añadir otros 6 Kg de materia orgánica por metro cuadrado. Este nivel de aplicación corresponde a aplicar la producción fecal de una persona durante un año a un área de 1,5-3 metros cuadrados de terreno. En consecuencia, la producción de heces de una familia de cinco miembros suministraría 7,5-15 metros cuadrados de terreno con materia orgánica. Esta tasa de aplicación, que significa aplicar mucho más fósforo que el que es absorbido por la mayoría de cultivos, es un ejemplo de una alta tasa de aplicación de las heces para alcanzar el objetivo principal de mejorar el contenido orgánico del suelo.

Sin embargo, un contenido alto y estable de materia orgánica del suelo se alcanza únicamente durante largos períodos de tiempo. La materia orgánica en el material aplicado, por ejemplo, heces secas o composta, no es tan estable como el humus del suelo y se degradará en el suelo. La ventaja de esto es que mientras esta más se degrade, más se mineralizarán los nutrientes y estarán disponibles para las plantas. La desventaja es que esta degradación significa que el contenido de materia orgánica disminuirá y por consiguiente se necesitarán aplicaciones continuas de materia orgánica para aumentar permanentemente el contenido de materia orgánica del suelo.

La adición de materia orgánica altamente degradable, por ejemplo, heces secas, significa que una gran cantidad de los nutrientes se vuelven disponibles, pero la materia orgánica se degrada rápidamente. La adición de un producto estabilizado rico en humus, por ejemplo, composta, significa que menos N está disponible para las plantas, pero por otro lado el aumento de materia orgánica en el suelo es más duradero. Sin embargo, la cantidad de humus estabilizado formado en el suelo cuando las heces secas son degradadas es aproximadamente la misma que se forma en el compostaje mesofílico. La diferencia es que existe el riesgo de perder los nutrientes mineralizados en el compostaje, mientras que cuando la degradación se produce en el suelo, estos pueden ser utilizados por las plantas.

Hay poco riesgo de efectos negativos al aplicar grandes cantidades de P o materia orgánica al suelo. Sin embargo, los siguientes aspectos deben ser considerados para tasas de aplicación muy altas. Si existen materiales ricos en carbono fácilmente degradables en el producto fecal, hay el riesgo de que el N disponible para las plantas sea usado por los microorganismos del suelo, y por lo tanto se presente una carencia a corto plazo de N que ocasione una disminución en la producción. Si grandes cantidades de cal o ceniza han sido usadas como aditivos, entonces existe el riesgo pequeño de efectos negativos a altas tasas de aplicación, a causa del pH alto (>7,5-8) resultante en el suelo. Un pH como este es un riesgo únicamente a tasas de aplicación extremadamente altas o si el pH inicial del suelo es muy alto ya. Para productos altos en amonio, residuos de la digestión y lodos del tratamiento con urea, existe el riesgo de efectos negativos si la aplicación de amonio es muy alta. Consecuentemente, la tasa de aplicación de estos productos se debe basar en el conocimiento de la concentración de amonio del producto y de la tasa de aplicación deseada del N.

Cuando se usan las altas tasas de aplicación descritas anteriormente, generalmente se alcanzan rendimientos impresionantes, por que la materia orgánica, el pH y la capacidad de amortiguamiento aumentan y el suelo almacena grandes cantidades de P y K, suficientes para durar varios años o incluso décadas. Sin embargo, estas no son tasas de aplicación eficaces de los recursos con respecto al uso de nutrientes de las heces, aunque el resultado es un efecto muy bueno sobre la producción de los cultivos.

Las tasas de aplicación en los ejemplos establecidos arriba están en el rango apropiado de 20-

150 toneladas de producto fecal por hectárea. Las tasas de aplicación normales para estiércol de granja en la agricultura están en el rango de 20-40 toneladas por hectárea.

Experiencias

Compostaje

Una amplia labor se ha realizado sobre el compostaje de heces a bajas temperaturas (Morgan, 2003). En una serie de experimentos en Zimbabwe, hortalizas como espinacas, *covo*, lechugas, pimiento verde, tomates y cebollas fueron cultivadas en baldes de 10 litros con suelo vegetal local pobre, y su crecimiento fue comparado con plantas cultivadas en contenedores similares llenos con una mezcla 50/50 del mismo suelo vegetal local pobre con un volumen igual de humus proveniente del co-compostaje de heces humanas y orina. En cada caso el crecimiento de las hortalizas fue monitoreado y el cultivo pesado luego de un determinado número de días de crecimiento. En la Tabla 9 se muestran los resultados de los ensayos (Morgan, 2003). Estos resultados muestran un incremento marcado en la producción de hortalizas resultante de la mejora del suelo pobre con la mezcla de heces y orina compostadas.



Figura 10. Las cebollas de la izquierda no fueron fertilizadas mientras que las de la derecha fueron cultivadas en una mezcla al 50% de suelo arenoso pobre y 50% de composta de Fosa alterna. Foto: Peter Morgan, Aquamor

Tabla 9. Producción promedio (gramos de peso fresco) en ensayos de plantas comparando el crecimiento únicamente en la capa vegetal, con el crecimiento en una mezcla de 50% de capa vegetal y 50% de composta de Fosa Alterna. (Morgan, 2003)

Planta, tipo de suelo y número de repeticiones	Período de crecimiento	Peso de la capa vegetal fresca g	Peso de la mezcla 50/50 capa vegetal/ FA*suelo frescos g	Producción relativa fertilizadas a sin fertilizar
Espinaca, Epworth suelo (n = 6)	30 días	72	546	7.6
Covo, Epworth suelo (n = 3)	30 días	20	161	8.1
Covo 2, Epworth suelo (n = 6)	30 días	81	357	4.4
Lechuga, Epworth suelo (n = 6)	30 días	122	912	7.5
Cebolla, Ruwa suelo (n = 9)	4 meses	141	391	2.8
Pimiento verde, Ruwa suelo (n = 1)	4 meses	19	89	4.7
Tomate, Ruwa suelo	3 meses	73	735	10.1

* Suelo de Fosa alterna

Los efectos son menos pronunciados en suelos fértiles y buenos. Una revisión de la literatura sobre las experiencias de composta usada en estos suelos (Odlare, 2004) demostró que a tasas de aplicación normales de 3040 toneladas de composta por hectárea los efectos son pequeños en la producción de plantas y en la estructura del suelo. Se encontraron principalmente efectos a largo plazo. La aplicación de la composta aumenta la cantidad de N orgánico en el suelo. Este puede ser lentamente mineralizado, la tasa depende de la temperatura del suelo, la humedad y los microorganismos. En total, cerca de 20-30% del N en la composta estará disponible para las plantas a lo largo del tiempo (Odlare, 2004). Existen también mejoras a largo plazo en la estructura del suelo y en la capacidad de retención del agua. Los mejores resultados de cultivo serán logrados si la composta es aplicada conjuntamente con N mineral en alguna forma, por ejemplo, en forma de orina.

Heces secas por deshidratación y almacenamiento

Una manera de reciclar las heces en la producción de plantas es plantar árboles en pozos poco profundos llenos de una mezcla de excreta, suelo y cenizas. Este es un método tradicional en muchos países africanos, incluso en fosas profundas. A pesar de que el crecimiento actual de los árboles en estos pozos no ha sido científicamente medido en comparación con el crecimiento de los árboles en suelos vecinos, existen varios reportes de una mejora en el crecimiento. El aumento del crecimiento se debe a que el árbol absorbe los nutrientes de la excreta compostada contenidos en los pozos. Aunque las cantidades de nutrientes en estos pozos son altas y no pueden ser completamente utilizadas por los árboles incluso a lo largo de décadas, este es un método simple y económico de saneamiento ecológico, que quizás pueda elevar el interés en otros métodos donde los nutrientes son eficazmente utilizados.

Un experimento de campo inició recientemente en Burkina Faso (Klutse, com. pers.), donde heces secas están siendo usadas como fertilizante en árboles como mango y banano, Figura 11. Una pala llena de heces es mezclada con el suelo en el pozo antes de que cada árbol sea plantado. No se cuenta con resultados disponibles aún.

Residuos de procesos de digestión

El efecto de los residuos de la digestión ha sido investigado en Suecia (Åkerhielm y Richert Stintzing, en publicación) e India (Godbole et al., 1988). Los resultados de Suecia muestran que los residuos de alimentos fermentados dan rendimientos en el rango de 72 a 105% de los rendimientos con cantidades iguales de N total en fertilizantes minerales. Los resultados de India muestran que a lo largo de cuatro años, los residuos de la digestión de plantas de biogas de pequeña escala dieron rendimientos más altos o tan altos como el estiércol de granja o los fertilizantes de urea, a niveles iguales de aplicación de N total.



Figura 11. Árboles frutales creciendo en pozos de Arborr Loo en Malawi. El Arbor Loo se muestra en el fondo. Foto: Peter Morgan, Aquamor.

Recomendaciones Finales

Estos lineamientos se fundamentan en nuestro conocimiento actual del uso de la orina y las heces en cultivos de pequeña y gran escala. Durante los próximos años anticipamos la generación de mucha información nueva en el reuso de la excreta como fertilizante. Estos lineamientos se actualizarán en un período de tres años.

EXCRETA, RECOMENDACIONES GENERALES

- La excreta deberá ser manipulada y tratada de acuerdo a los lineamientos de higiene (Schönning y Stenström, 2004).
- La orina y las heces son fertilizantes completos de alta calidad con bajos niveles de contaminantes como por ejemplo metales pesados. El mejor efecto fertilizante es alcanzado si se usadas en combinación, pero no necesariamente en el mismo año en la misma área.

ORINA

- La orina es un fertilizante completo rico en nitrógeno de acción rápida. Sus nutrientes son utilizados mejor si la orina se aplica antes de la siembra hasta dos tercios del período entre la siembra y la cosecha.
- La orina puede ser aplicada pura o diluida. Sin embargo, la tasa de aplicación deberá basarse siempre en la tasa de aplicación deseada de nitrógeno y la orina o la mezcla de orina deberá ser manejada en contenedores cerrados e incorporada tan rápido como sea posible en el suelo, para reducir al mínimo las pérdidas de amoníaco. Cualquier necesidad adicional de agua deberá ser cubierta usando agua pura, no orina diluida.
- La tasa de aplicación recomendada y el tiempo para los fertilizantes químicos de nitrógeno (urea o amonio si están disponibles) es el mejor punto de inicio para desarrollar las recomendaciones locales de la tasa de aplicación y tiempo de aplicación para la orina. Para extrapolar dichas recomendaciones a la orina la concentración de nitrógeno puede ser estimada en 3-7 g/litro, si no existe mejor información.
- Si no se pueden obtener las recomendaciones, una regla general es aplicar la orina de

una persona recolectada en un día (24 horas) a un metro cuadrado de cultivo. Si toda la orina es recolectada, será suficiente para fertilizar 300-400 m² por persona. Para la mayoría de cultivos, la tasa máxima de aplicación antes de correr el riesgo de efectos tóxicos es por lo menos el cuádruple de esta dosis.

- Para la mayoría de cultivos y bajo la mayoría de circunstancias, la producción es constante para la misma tasa de aplicación total, sin importar si esta fue aplicada en una dosis o dividida en dosis pequeñas. Para cultivos con un sistema de raíces pequeñas, podría ser ventajoso dividir la dosis de aplicación, especialmente si el requerimiento de nutrientes del cultivo es grande y la absorción principal se produce tarde en la etapa de crecimiento.

HECES

- La materia fecal es rica especialmente en fósforo, potasio y materia orgánica.
- La materia orgánica y las cenizas, que son a menudo añadidas a las heces, incrementan la capacidad de amortiguamiento y el pH del suelo, esto tiene especial importancia en suelos con pH bajo.
- La materia orgánica también mejora la estructura y la capacidad de retención del agua de los suelos.
- Las heces deben ser aplicadas y mezcladas en el suelo antes de que la siembra inicie. Una manera de economizar el beneficio valioso de las heces es aplicarlas localmente en agujeros o surcos cerca de donde se planea sembrar las plantas.
- Para las heces, la tasa de aplicación puede basarse en las recomendaciones para el uso de los fertilizantes fosfatados. Esto da una tasa de aplicación baja, y la mejora mediante la adición de materia orgánica es muy difícil de distinguir. Sin embargo, las heces son aplicadas a menudo en tasas mucho más altas, a las cuales la estructura y la capacidad de retención del agua del suelo son también mejoradas notablemente.

Vacíos en el Conocimiento

Existen muchos vacíos en el conocimiento actual, concernientes con el uso de la orina y las heces como fertilizantes. La carencia de investigaciones documentadas en esta área hace que el desarrollo de lineamientos se dificulte. No obstante, estos productos han sido usados en la agricultura desde la antigüedad, y existe mucho conocimiento que no ha sido documentado y se fundamenta en la práctica. Se necesita contar con investigaciones sobre el uso de la orina y las heces como fertilizantes, especialmente en las siguientes áreas:

- Efectos de los nutrientes de la excreta en los cultivos y en el suelo.
- Estrategias de fertilización y técnicas de aplicación cuando se usa excreta.
- Eficiencia del almacenamiento de la orina en el suelo.
- Técnicas de higienización de las heces simples y de uso eficiente de los recursos.

Adaptación de estos Lineamientos a las Condiciones Locales

Estos lineamientos deben ser adaptados a las condiciones locales. Los sistemas agrícolas varían, como lo hacen las prácticas humanas de lugar a lugar. Como un punto de partida, información nacional sobre el contenido de nutrientes en la orina y las heces así como también las cantidades

excretadas durante un año pueden ser desarrolladas sobre la base de cálculos de acuerdo al método descrito en la sección antes mencionada de los “Contenidos de macronutrientes en la excreta”, complementada con mediciones relevantes.

Referencias

- Åkerhielm, H. y Richert Stintzing, A. In press. *Anaerobically digested source separated food waste as a fertilizer in cereal production*. Submitted to RAMIRAN, FAO International Conference Proceedings 2004.
- Arnbjerg-Nielsen, K., Hansen, L., Kjølholt, J., Stuer-Lauridsen, F., Hasling A.B., Stenström, T.A., Schönning, C., Westrell T., Carlsen, A. y Halling-Sørensen, B. 2003. ‘Risk assessment of local handling of human faeces with focus on pathogens and pharmaceuticals’. In: *Ecosan – Closing the loop*. Proceedings of the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation, incorporating the 1st IWA specialist group conference on sustainable sanitation, 7th-11th April 2003, Lübeck, Germany. p: 365.
- Andersson, Å. y Jensen, A. 2002. *Flöden och sammansättning på BDT-vatten urin, fekalier och fast organiskt avfall i Gebers* (Flows and composition of greywater, urine, faeces and solid biodegradable waste in Gebers (in Swedish, English summary). Institutionsmeddelande 2002:05, Department of Agricultural Engineering, Swedish University of Agricultural Sciences. Sweden.
- Becker, W. 1994. *Befolkningens kostvanor och näringsintag i Sverige 1989* (Dietary habits and intake of nutrition in Sweden 1989). The National Food Administration. Uppsala, Sweden.
- Beck-Friis, B., Smårs, S., Jönsson, H. y Kirchmann, H. 2001. ‘Emission of CO₂, NH₃ and N₂O from organic household waste in a compost reactor under different temperature regimes’. *Journal of Agricultural Engineering Research* **78**(4): 423-430.
- Beck-Friis, B., Smårs, S., Jönsson, H., Eklind, Y. y Kirchmann, H. 2003. Composting of source-separated organic household waste at different oxygen levels: Gaining an understanding of the emission dynamics. *Compost Science y Utilization*, **11**(1): 41-50.
- Berg, J. 2000. *Storing and handling of biogas residues from big-scale biogas plants* (In Swedish). JTI report Kretslopp y Avfall 22, Swedish Institute for Agricultural and Environmental Research. Sweden.
- Berger, E.Y. 1960. ‘Intestinal absorption and excretion’. In: Comar, C.L. y Bronner F. (eds) *Mineral Metabolism*. Academic Press, New York. pp 249-286.
- Båth, B. 2003. *Field trials using human urine as fertilizer to leeks* (In Swedish). Manuscript, Department of Ecology and Plant Production Science, Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, Sweden.
- Clark, G.A. 2003. *A test of the production of organically fertilized amaranth in Tehuixtla, Morelos, Mexico*. Manuscript available from esac@laneta.apc.org.
- Eklind, Y. y Kirchmann, H. 2000. ‘Composting and storage of organic household waste with different litter amendments. II. Nitrogen turnover and losses’. *Bioresource Technology* **74**(2): 125-133.
- FAO (2003). *FAOSTAT Nutrition data – Food Supply – Crops Primary Equivalent*. http://apps.fao.org/page/collect_ions?subset=nutrition, visited 2003-02-28.
- Fraústo da Silva, J.J.R. y Williams, R.J.P. 1997. *The Biological Chemistry of the Elements -The Inorganic Chemistry of Life*. Oxford, UK.
- Gao, X. Zh., Shen, T., Zheng, Y., Sun, X., Huang, S., Ren, Q., Zhang, X., Tian, Y. y Luan, G. 2002. *Practical manure handbook*. (In Chinese). Chinese Agriculture Publishing House. Beijing, China.
- Garrow, J.S. 1993. ‘Composition of the body’. In: Garrow, J.S. y James, W.P.T. (eds) *Human nutrition and dietetics*, 3rd ed. Churcill Livingstone, Edinburgh, UK.
- Godbole, S. H., Kulkarni, Y. S., Yeole, T. Y., y Wange, S. S. 1988. ‘Evaluation of manurial value of the effluent slurry of gobargas plant on the yield of wheat’(Var. MACS-9). In: Mathur, A. N. y Verma, L. N. (eds) *Management and utilization of biogas plant slurry*. Himashu Publications, Udaipur, Rajasthan, India.
- Guadarrama, R. O., Pichardo, N. A., Morales-Oliver, E. 2001. ‘Urine and Compost Efficiency Applied to Lettuce under Greenhouse Conditions in Temixco, Morales, Mexico’. In: *Abstract Volume*, First International Conference on Ecological Sanitation 5-8 November 2001, Nanning, China.
- Guyton, A.C. 1992. *Human Physiology and Mechanisms of Disease*. W.B. Saunders Company, Philadelphia, USA.
- Haug, R. T. 1993. *The practical handbook of compost engineering*. Lewis Publishers, USA.
- Herberer, T., Schmidt-Bäumler, K. y Stan, H-J. 1998. ‘Occurrence and distribution of organic contaminants in aquatic system in Berlin. Part I: Drug residues and other polar contaminants in Berlin surface and groundwater.’ *Acta hydrochim. hydrobiol.* **26**. 272-278.
- Jacks, G., Sefe, F., Carling, M., Hammar, M. y Letsamao, P. 1999. ‘Tentative nitrogen budget for pit latrines – eastern Botswana’. *Environmental Geology* **38**(3): 199-203.

- Johansson, M., Jönsson, H., Höglund, C., Richert Stintzing, A. y Rodhe, L. 2001. *Urine separation – closing the nutrient cycle*. Stockholm Water Company. Stockholm, Sweden. Available at: http://www.stockholmvatten.se/pdf_arkiv/english/Urinese_eng.pdf.
- Jönsson, H., Stenström, T.A., Svensson, J. y Sundin, A. 1997. 'Source separated urine Nutrient and heavy metal content, water saving and faecal contamination'. *Water Science and Technology* **35**(9):145-152.
- Jönsson, H. y Vinnerås, B. 2004. Adapting the nutrient content of urine and faeces in different countries using FAO and Swedish data. In: *Ecosan – Closing the loop*. Proceedings of the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation, incorporating the 1st IWA specialist group conference on sustainable sanitation, 7th-11th April 2003, Lübeck, Germany. pp 623-626.
- Jönsson, H., Eklind, Y., Albihn, A., Jarvis, Å., Kylin, H., Nilsson, M.-L., Nordberg, Å., Pell, M., Schnürer, A., Schönning, C., Sundh, I. y Sundqvist, J.-O. 2003. *Samhällets organiska avfall – en resurs i kretsloppet* (The organic waste in society – a resource in the circulation; in Swedish). Fakta Jordbruk – No 1-2, SLU, Swedish University of Agricultural Sciences. Sweden.
- Jönsson, H., Vinnerås, B., Höglund, C. y Stenström, T.-A. 1999. Source separation of urine (Teilstromerfassung von Urin). *Wasser y Boden* **51**(11):21-25. Jönsson, H., Vinnerås, B., Höglund, C., Stenström, T.A., Dalhammar, G. y Kirchmann, H. 2000. *Källsorterad humanurin i kretslopp* (Recycling source separated human urine) (In Swedish, English summary). VA-FORSK Report 2000•1. VA-FORSK/VAV. Stockholm, Sweden. Kirchmann, H. y Pettersson, S. 1995. Human urine – chemical composition and fertilizer efficiency. *Fertilizer Research* **40**:149-154.
- Kvarmo, P. 1998. *Humanurin som kvävegödselmedel till stråsåd* (Human urine as nitrogen fertilizer to cereals) (In Swedish). MSc thesis 1998, no 107, Department of Soil Science, Swedish University of Agricultural Sciences. Sweden.
- Lentner, C., Lentner, C. y Wink, A. 1981. *Units of Measurement, Body Fluids, Composition of the Body, Nutrition. Geigy Scientific tables*. Ciba-Geigy, Basel, Switzerland.
- Lundström, C. y Lindén, B. 2001. *Kväveeffekter av humanurin, Biofer och Binadan som gödselmedel till höstvet, vårvete och vårkorn i ekologisk odling*. (Nitrogen effects of human urine and fertilizers containing meat bone meal (Biofer) or chicken manure (Binadan) as fertilizers applied to winter wheat, spring wheat and spring barley in organic farming) (In Swedish). Skara Series B Crops and Soils Report 8, Department of Agricultural Research, Swedish University of Agricultural Sciences. Skara, Sweden.
- Marschner, H. 1997. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd edition. Academic Press.
- Moe, C. y Izurieta, R. 2004. Longitudinal study of double vault urine diverting toilets and solar toilets in El Salvador. In: *Ecosan – Closing the loop*. Proceedings of the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation, incorporating the 1st IWA specialist group conference on sustainable sanitation, 7th-11th April 2003, Lübeck, Germany. Pp 295-302.
- Morgan, P. 2003. *Experiments using urine and humus derived from ecological toilets as a source of nutrients for growing crops*. Paper presented at 3rd World Water Forum 16-23 March 2003. Available at: <http://aquamor.tripod.com/KYOTO.htm>.
- Odlare, M., Pell, M. y Persson, P.-E. 2000. *Kompostanvändning i jordbruket - en internationell utblick* (Compost use in agriculture -an international survey; in Swedish). RVF Utveckling Rapport 00:6, Svenska Renhållningsverksföreningen Service AB. Malmö, Sweden.
- Palmquist, H. y Jönsson, H. 2004. Urine, faeces, greywater, greywater and biodegradable solid waste as potential fertilizers. In: *Ecosan – closing the loop*. Proceedings of the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation, Incorporating the 1st IWA Specialist Group Conference on Sustainable Sanitation, 7th-11th April, Lübeck, Germany, pp. 587-594.
- Pieper, W. 1987. *Das Scheiss-Buch -Entstehung, Nutzung, Entsorgung menschlicher Fäkalien* (The shit book – production, use, Entsorgung human faeces; in German). Der Grüne Zweig 123, Werner Pieper and the Grüne Kraft. Germany.
- Richert Stintzing, A., Rodhe, L. y Åkerhielm, H. 2001. *Human urine as fertilizer – plant nutrients, application technique and environmental effects* (In Swedish, English summary). JTI-Rapport Lantbruk y Industri 278, Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering. Sweden.
- Rodhe L., Richert Stintzing A. y Steineck S., 2004. 'Ammonia emissions after application of human urine to clay soil for barley growth'. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **68**:191-198.
- Schönning, C. and Stenström, T-A. 2004. *Guidelines for the Safe Use of Urine and Faeces in Ecological Sanitation Systems*.
- SEPA. 1999. *Stallgödselns innehåll av växtnäring och spårelement* (Content of plant nutrients and trace elements in farm yard manure; in Swedish) Report 4974, Swedish Environmental Protection Agency. Solna, Sweden.
- Simons, J. y Clemens, J. 2004. 'The use of separated human urine as mineral fertilizer'. In: *Ecosan – Closing the loop*. Proceedings of the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation, incorporating the 1st IWA specialist group conference on sustainable sanitation, 7th-11th April 2003, Lübeck, Germany. pp 595-600.
- Swedish Food Authority. 2004. *Livsmedelnsdatabasen* (The food database; in Swedish). Available at: <http://www>.

- slv.se/default.asp?FrameLocation=/templatesSLV/SLV_Page____7369.asp.
- Sonesson, U. 1996. *The ORWARE Simulation Model – Compost and Transport Submodels*. (Licentiate thesis) Report 215, Department of Agricultural Engineering, Swedish University of Agricultural Sciences. Sweden.
- Sundin, A. 1999. *Humane urine improves the growth of Swiss chard and soil fertility in Ethiopian urban agriculture*. Thesis and Seminar projects No. 112, Department of Soil Science, Swedish University of Agricultural Sciences.
- Thorup-Kristensen, K. 2001. 'Root growth and soil nitrogen depletion by onion, lettuce, early cabbage and carrot'. *Acta Horticulturae*. **563**: 201-206.
- Trémolières, J., Bonfilis, S., Carré, L. y Sautier, C. 1961. Une méthode d'étude de la digestibilité chez l'homme, le fécalogramme. *Nutritio et Dieta; European Review of Nutrition and Dietetics* 3: pp. 281-289.
- Udert, K.M., Larsen, T. y Gujer, W. 2003. Estimating the precipitation potential in urine-collecting systems. *Water Research* **37**: 2667-2677.
- USDA. 2004. *USDA National nutrient database*. Available at: http://www.nal.usda.gov/fnic/cgi-bin/nut_search.pl.
- Vinnerås, B. 2002. *Possibilities for sustainable nutrient recycling by faecal separation combined with urine diversion*. Agraria 353, Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, Sweden.
- Vinnerås, B., Björklund, A., y Jönsson, H. 2003a. Disinfection of faecal matter by thermal composting – laboratory scale and pilot scale studies. *Bioresource Technology* **88**(1): 47-54.
- Vinnerås, B., Höglund, C., Jönsson, H. y Stenström, T.A. 1999. 'Characterisation of sludge in urine separating sewerage systems'. In: Klöve B., Etniner C., Jenssen P. y Maehlum T. (eds) *Proceedings of the 4th International Conference – Managing the Wastewater Resource Ecological Engineering for Wastewater Treatment*. Norway. June 7-11. 1999.
- Vinnerås, B., Holmqvist, A., Bagge, E., Albiñ, A. y Jönsson, H. 2003b. Potential of disinfection of separated faecal matter by urea and PAA for hygienic nutrient recycling. *Bioresource Technology* **89**(2): 155-161.

Comunicaciones personales

- Klutse, Amah. Research Coordinator, CREPA, Burkina Faso. 2003-11-14. amahklutse@yahoo.fr.
- Dembele, Sidiki Gabriel. Member of Comité Technique Regionale, CREPA. 2003-11-06. sidikigabriel@hotmail.com.



EcoSanRes es un programa internacional de investigación y desarrollo financiado por Asdi (Agencia Sueca para el Desarrollo Internacional). Se trata de una amplia red de socios con conocimientos y experiencia en varios aspectos del saneamiento ecológico, que van desde la gestión y la higiene a las cuestiones técnicas y de reuso. Los socios representan a universidades, ONGs y consultores y participan en estudios, actividades de promoción y ejecución de proyectos en Asia, África y América Latina.

El centro de la red es el Instituto Ambiental de Estocolmo (SEI por sus siglas en inglés), que tiene un contrato con Asdi. EcoSanRes se ha convertido en un órgano de red con autoridad dentro del campo del saneamiento ecológico y coopera adicionalmente con otras organizaciones bilaterales y multilaterales como la OMS, UNICEF, PNUD, PNUMA, GTZ, WASTE, IWA, PAS, etc.

El programa de EcoSanRes tiene tres componentes principales:

- Expansión
- Capacidad
- Implementación

El trabajo de expansión incluye promoción, creación de redes y disseminación a través de seminarios, conferencias, grupos de discusión electrónicos y publicaciones.

El fomento de la capacidad, se logra a través de cursos de entrenamiento en saneamiento ecológico en de la producción de estudios y lineamientos, cuyo contenido va desde el diseño de eco-inodoros, tratamiento de aguas grises, aspectos arquitectónicos, reuso agrícola, lineamientos para la salud, herramientas de planificación, etc.

La implementación pone la teoría en la práctica con proyectos piloto de saneamiento ecológico en diversas regiones alrededor del mundo. Puesto que el factor más importante de éxito en la implementación de sistemas ecosan es la adaptación local, EcosanRes proporciona un marco lógico para proyectos pilotos prospectivos e insiste en que los proyectos cumplan con criterios rigurosos previa su aprobación.

EsoSanRes se encuentra ejecutando proyectos pilotos principalmente en China, Sudáfrica, México e India con planes para Bolivia. La nueva fase del programa EcoSanRes que inició en el 2006 ayudará a desarrollar nodos regionales en varias partes de los países en vías de desarrollo para fomentar la capacidad más allá, la sensibilización pública e implementar proyectos locales.

Para mayor información sobre las organizaciones cooperantes y las actividades del programa por favor consultar.

www.ecosanres.org