

29/85

MINISTERIO DE AGRICULTURA
FONDO DE INVESTIGACION AGROPECUARIA

INFORME TECNICO

APROVECHAMIENTO RACIONAL
DE DESECHOS ORGANICOS

FACULTAD CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES
FACULTAD CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS

UNIVERSIDAD DE CHILE

1990

PROFESORES PARTICIPANTES DEL PROYECTO

JEFE PROYECTO: MARIA TERESA VARNERO M.
Profesor Asociado

SUB JEFE PROYECTO: JOSE ARELLANO V.
Profesor Asociado

COLABORADORES

AREA AGRONOMICA: CARLOS BENAVIDES Z.
Profesor Adjunto

FERNANDO SANTIBAÑEZ Q.
Profesor Titular

AREA MICROBIOLOGICA: NATASCHA VENEGAS C.
Profesor Adjunto

AREA QUIMICA SUELOS: ADRIANA CARRASCO R.
Profesor Titular

EVALUACION ECONOMICA: NORMA SEPULVEDA B.
Profesor Asociado

FACULTAD CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES

FACULTAD CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS

UNIVERSIDAD DE CHILE

RESUMEN - INFORME TECNICO

APROVECHAMIENTO RACIONAL DE DESECHOS ORGANICOS

En las explotaciones agrícolas se generan desechos orgánicos agropecuarios que contienen interesantes recursos energéticos. Por lo tanto, este proyecto se orientó en el desarrollo de sistemas de reciclaje de los desechos agrícolas, de modo de hacer un uso productivo de éstos y disminuir los problemas de contaminación y desequilibrio ecológico en algunos casos.

El medio rural presenta numerosas características comunes, independientes de la ubicación geográfica. La dispersión de la población y el mal estado de las vías de acceso a los predios provocan un problema generalizado de desabastecimiento, siendo el energético el de mayor relevancia.

En el área rural se presentan dos facetas en términos generales:

- La primera, corresponde a comunidades rurales con escasez de fuentes alternativas de energía de bajo costo para uso doméstico, razón por la cual el mayor consumo recae sobre la masa forestal incidiendo en una deforestación, llevando a la erosión y a la desertificación. Por lo general poseen un número reducido de animales, y cuyos problemas de contaminación son prácticamente absorbidos por el ecosistema. Otro problema que surge es la subutilización de recursos en cuanto al forraje disponible por deterioro y sobrepastoreo del mismo.

- La segunda, está representada por el sector productivo agropecuario que dispone de predios con crianza de cerdos, aves y vacunos concentrados en pequeñas áreas, produciendo diariamente grandes volúmenes de desechos. Por lo general estos residuos no son estabilizados para su posterior utilización en sistemas de reciclaje orgánico ocasionando serios problemas de contaminación del medio ambiente.

La producción agropecuaria del país muestra las siguientes cifras (INE, 1976): el 51,3% de los criaderos de aves está concentrado en las regiones IV, V, y Región Metropolitana, teniendo esta última el 23,4% del total nacional, lo que equivale a 3.443 ton/día de excretas generadas por las aves. El mayor número de cerdos está en la Región Metropolitana con 128.810 animales, con 290 ton/día de excretas aproximadamente. En la X Región se concentra el mayor porcentaje de vacunos, un 34,7%, estimándose una producción diaria de excretas del orden de 11.746 ton. Las regiones centrales (V, VI y R.M.) sólo con un 14% de vacunos, generaría aproximadamente 4.698 ton/día de excretas.

En cuanto a los cultivos, los mayores porcentajes de superficie agrícola, se encuentran entre la R.M. y la IX Región. La R.M. posee un 24,4% del total del país sembrada en hortalizas.

Si se enmarca la problemática rural en torno a la R.M. que tiene una superficie total de 1.248.697 ha y la superficie sembrada alcanza aproximadamente a 151.003 ha, se estima que existe un total de 20.630 explotaciones, de las cuales el 81% corresponde a predios de menos de 20 Ha. Prácticamente todas las comunas fuera del sector urbano de Santiago son agropecuariamente productivas.

Una forma eficiente de utilizar los desechos agropecuarios que se generan en las explotaciones agrícolas, es tratarlos previamente mediante sistemas de bioprocesos, ya sea

vía digestión aeróbica o anaeróbica. En ambos casos, se obtiene un producto elaborado que representa un valor agregado, el cual puede incorporarse al suelo como acondicionador y mejorador de las propiedades físicas del medio edáfico, lo que incide en la producción y la calidad de hortalizas y frutales.

En el proceso de biodigestión anaeróbica, además se produce una mezcla gaseosa llamada biogas. Este biogas contiene entre 40% y 75% de metano, gas combustible, cuyo poder calorífico es del orden de 4.800 a 7.000 Kcal/m³ con producción de 0,4 - 0,6 m³ de biogas/m³ de digestor. Si se considera este aspecto, constituiría un aporte adicional de energía doméstica, disminuyendo la extracción de leña como fuente energética en el medio rural. En algunos casos, permitiría la implementación de pequeñas agroindustrias prediales.

El adecuado funcionamiento de un biodigestor permite obtener:

- 1.- Residuos orgánicos estabilizados que pueden ser usados como acondicionadores y/o bioabonos.
- 2.- Un efluente con nutrientes para regadío agrícola o para favorecer el crecimiento de biomasa algal y subproductos.
- 3.- Una mezcla gaseosa combustible, biogas, de uso doméstico o agrícola.
- 4.- Condiciones sanitarias y ecológicas de mejor calidad.

La literatura existente indica que para una exitosa aplicación comercial de esta tecnología deben ser considerados tanto las condiciones propias de cada usuario, como también algunos parámetros químicos y de ingeniería básica determinantes para conseguir una operación estable con rendimientos energéticos netos positivos. El mayor desarrollo tecnológico de diseño de digestores rurales, se ha realizado en países como Brasil, China e India, los cuales presentan diferencias con las condiciones

climáticas de Chile.

La factibilidad de implementar esta tecnología en el país está sujeta a una serie de condiciones, entre las cuales, para el desarrollo de este proyecto se analizó el potencial de recursos agropecuarios existentes en el medio rural y se determinó áreas de comportamiento térmico homogéneo dentro de los límites aceptables de producción de biogas. De acuerdo con este marco, los objetivos generales fueron :

- Establecer las condiciones que permitan la versatilidad en el manejo de materias primas y productos finales en la biodigestión anaeróbica.

- Establecer los parámetros básicos que permitan obtener energía gaseosa y residuos estabilizados con higiene/control de microorganismos patógenos.

- Determinar la viabilidad técnica de esta operación en relación a la disponibilidad de recursos agropecuarios y a la determinación de zonas de comportamiento térmico atmosférico homogéneo.

Las actividades realizadas en el desarrollo del proyecto, corresponden en una primera etapa a la estimación de la disponibilidad de desechos agropecuarios útiles para la tecnología del biogas, basada en la información del INE de los últimos 10 años (1980-1989), y en la obtenida en una unidad agrícola experimental y demostrativa, que presentaba características de "pequeño agricultor", que permitían visualizarla como modelo interesante de implementar a futuro.

La información reunida en esta etapa, permitió seleccionar los desechos útiles que podrían tener mayor relevancia para hacer funcionar un digestor, en relación a cantidad de desechos producidos en los predios agrícolas y al potencial energético contenido en las materias primas.

Se realizó análisis químico y microbiológico de los desechos seleccionados. Se mantuvo en funcionamiento una batería de 25-30 digestores experimentales de laboratorio, de 1 litro de capacidad con volumen útil de 700 ml, para incubar en condiciones controladas las diferentes materias primas, simulando sistemas batch y variando parámetros de temperatura, tiempo de retención, niveles de sólidos totales, entre otros. El objetivo de estos ensayos era obtener información en corto plazo sobre el proceso de biodigestión de las materias primas seleccionadas y caracterizar química y microbiológicamente los residuos estabilizados.

La velocidad de biodegradación de los guanos está estrechamente ligada con el desarrollo y la actividad microbiana del sistema anaeróbico. Ambos dependen de las características bioquímicas de las materias primas, del pH del medio, de los niveles de sólidos totales y de la temperatura del sistema.

El tiempo de retención hidráulico se prolonga significativamente en el período de bajas temperaturas atmosféricas, factor difícilmente manejable a costos razonables. Por lo tanto, estos ensayos de laboratorio se orientaron en la búsqueda de una alternativa para aumentar la eficiencia del proceso, reduciendo el tiempo de inicio de la metanización en el digestor, a través del uso combinado de guanos con materias primas que actúen como aceleradores.

Los resultados obtenidos revelan que la incorporación de cladodios de tuna en la digestión anaeróbica de guanos es factible y permite reducir el tiempo de inicio del proceso de biodegradación del guano, siempre que el pH de las mezclas se mantenga dentro de rangos neutros o ligeramente ácidos. Esto permitiría el diseño de un digestor de menor tamaño para procesar igual volumen de desechos.

Paralelamente se mantuvo en funcionamiento el biodigestor

tipo batch o discontinuo, ubicado en la Fac. de Cs. Agrarias y Forestales, el que proporcionó periódicamente:

A) El material orgánico estabilizado anaeróbicamente, bioabono, utilizado en los ensayos en invernadero y de campo.

B) La información sobre la producción de biogas.

Este digestor consta de tres cámaras de 6 m³ cada una y de un gasómetro de 5 m³ de capacidad; para la biodigestión de desechos orgánicos con un alto nivel de sólidos totales, del orden de 3 toneladas de materia seca /cámara. El período mínimo de fermentación en el digestor se debe establecer de acuerdo con el tipo de sustrato orgánico y la época del año en que se carga el digestor.

La optimización en la producción de biogas implica disminuir el grado de estabilización de los materiales orgánicos. Sin embargo, esto se puede solucionar mediante la combinación de tratamientos anaeróbicos y aeróbicos (compostaje), lo que permite obtener un producto con textura física particular de muy baja densidad y resistencia mecánica, además de una mayor tasa de mineralización de nitrógeno.

A) La caracterización química de los desechos estabilizados anaeróbicamente, bioabonos, revela que los niveles de salinidad disminuyen notoriamente en relación con los materiales sin fermentar, pero fluctúan dentro de rangos que restringen el establecimiento de algunos cultivos, de no hacerse una adecuada dosificación de ellos. El valor biofertilizante o nutricional de los bioabonos depende principalmente del origen del sustrato orgánico utilizado en la biodigestión. Ambos aspectos, salinidad y calidad biofertilizante, se evaluaron además mediante ensayos en invernadero.

Los resultados de los análisis microbiológicos de los desechos estabilizados reflejan una drástica reducción de las

bacterias patógenas, que son las de mayor interés de controlar en estos tratamientos. Por lo tanto, la biodigestión anaeróbica sería un método efectivo para eliminar estos microorganismos.

Los ensayos de campo efectuados en la parcela experimental y demostrativa "Centro El Canelo de Nos", consideró un sistema de rotación de cultivos : leguminosa-cereal-leguminosa-chacarería, a objeto de dimensionar las necesidades de nitrógeno exógeno en sistemas de producción de bajos insumos, junto con establecer normas de manejo de los residuos orgánicos estabilizados.

La productividad sostenida sobre la base del manejo de la fertilidad natural del suelo, propio de una agricultura autosustentante, permite atenuar la dependencia de los fertilizantes químicos, disminuyendo costos de producción junto con minimizar el impacto de la explotación sobre el ecosistema.

La incorporación de desechos orgánicos agropecuarios al suelo para mejorar la fertilidad y por lo tanto la productividad, depende del valor fertilizante que tengan los abonos orgánicos, especialmente en términos de nitrógeno, como también de las exigencias nutricionales que presente el cultivo.

Los abonos orgánicos tienen la ventaja de actuar como acondicionadores de los suelos y en este sentido los hace interesante en cualquier plan de manejo de la productividad a mediano y largo plazo. Los efectos de la materia orgánica sobre los suelos, son múltiples y se refieren tanto a las propiedades físicas como a las químicas y bioquímicas. De la combinación de estos efectos sobre las propiedades de los suelos, resulta un efecto integrado de la materia orgánica sobre los rendimientos.

El mayor impacto del reciclaje de materias orgánicas en combinación con rotaciones de cultivo, que incluyan leguminosas, se puede producir en explotaciones campesinas, caracterizadas por pequeñas superficies, limitado capital de trabajo y techos de

producción moderados o bajos.

Las comparaciones de los tipos de abonos orgánicos (compost-bioabono), basado en algunos aspectos de productividad de los componentes de la rotación leguminosa-cereal indicarían ventajas para el compost cuando se trata de leguminosa (caso haba) y para el bioabono en el componente cereal (caso maíz). Estas ventajas comparativas parecen explicarse por una diferencia en:

- 1.- Niveles de nitrógeno disponible (bioabono)
- 2.- Velocidad de mineralización (bioabono)
- 3.- Efectos sobre aspectos físicos del suelo (compost)

Por otra parte el problema de las dosis puede explicarse de dos formas:

-) Sistema de manejo basado en bajas dosis, lo cual implica un período de transición no determinado, en el cual se produce un paulatino incremento de carbono orgánico, "pools" de nutrientes lábiles y mejoramiento de propiedades físicas.

-) Sistema de manejo que no considera una etapa de transición y que emplea dosis altas, en que los resultados señalados anteriormente se alcanzan antes.

Los ensayos de campo realizados se establecieron siguiendo un esquema de trabajo de tipo intermedio, donde aparentemente la dosis umbral está en torno a las 30 ton/ha de ambos abonos orgánicos.

En estas condiciones, las necesidades de nutrientes, especialmente nitrógeno, son menores y por lo tanto, un sistema de manejo agrícola basado en aportes por fijación biológica de nitrógeno y reciclaje orgánico, daría margen para una reducción significativa de los requerimientos de nitrógeno exógeno orgánico e inorgánico.

El otro ensayo de campo se realizó en el ex predio La Cervera en la Región Metropolitana (al sur de la comuna de Buin). El objeto de este estudio era estimular el crecimiento inicial en huertos frutales recientemente implantados, momento en el cual las raíces deben explorar el suelo. La aplicación de abonos orgánicos en huertos recién plantados, permitiría crear condiciones favorables para el desarrollo radical, lo que incide en el crecimiento de la planta dentro de una estación.

La especie frutal seleccionada fue el kiwi, considerando que es muy sensible a las condiciones físicas del suelo. Los resultados obtenidos en la primera temporada de crecimiento ponen de relieve que los bioabonos colocados en el hoyo de plantación favorecen una brotación más anticipada, lo que permite una mayor área foliar en la estación de crecimiento y con ello una mayor producción potencial de la planta.

Esto último se pudo comprobar en el seguimiento de la experiencia, con la entrada en producción más precoz que presentaron las plantas tratadas con bioabonos y a la vez una mayor producción. Además, los frutos obtenidos de los tratamientos con bioabono presentan una maduración de post cosecha más gradual en relación con frutos de tratamientos sin bioabono, lo que resulta interesante si se consideran los costos de refrigeración y el tiempo de transporte para frutos de exportación.

El bioabono tuvo un efecto significativo sobre las siguientes variables alométricas: área foliar, número de hojas, longitud de plantas, longitud de entrenudos y número de brazos. En cuanto al análisis de raíces, el bioabono favoreció el sistema radical del kiwi, en desmedro de las raíces de malezas. El análisis foliar determinó que el bioabono no tiene un efecto fertilizante notable.

B) El proceso de digestión anaeróbica de los desechos agropecuarios, así como la cantidad de biogas que se produce por

volumen o unidad de masa de materia prima, es muy variable, siendo función de la temperatura, de la materia orgánica o materia prima, de la dilución y del tipo de digestor.

La composición del biogas y su poder calórico, varía de acuerdo con la naturaleza de la materia prima fermentada y el período de fermentación.

La temperatura de fermentación en el digestor afectará fuertemente la producción de biogas, no así la cantidad final de gas producido. Bajo condiciones adecuadas los microorganismos se vuelven más activos y se produce biogas a una tasa mayor. El metano se producirá dentro de un rango relativamente amplio de temperaturas, dependiendo de las condiciones prevalentes. Hay tres tipos de fermentación posibles: a temperaturas altas (50 - 55 °C), medias (30 - 35°C) y corrientes (15 - 30 °C). Los microorganismos metanogénicos son muy sensibles a cambios de temperaturas, afectándose la producción de biogas.

En base a estos antecedentes, se debe tener presente que la optimización del funcionamiento de los digestores depende, entre otros, de la temperatura del sistema anaeróbico y de las características de las materias primas disponibles en el medio rural. Por lo tanto la factibilidad de implementar esta tecnología en Chile está sujeta en primer lugar a la disponibilidad potencial de materias primas y a las temperaturas medias atmosféricas.

Se efectuó un análisis térmico anual de la producción de biogas con los datos recopilados del biodigestor batch que está funcionando en la Facultad. Se obtuvo una regresión lineal basada en información de temperaturas medias mensuales, teniendo como criterio para aceptar un área, que a lo menos cuatro meses al año las temperaturas promedio mensuales sean igual o superior a 14°C.

La integración de esta información con la existente en el país sobre la disponibilidad de materias primas agropecuarias,

permitió delimitar zonas ecológicas con posibilidades de desarrollar esta tecnología. Los resultados obtenidos indican que están comprendidas entre la IV y VIII Región, donde se determinó para un año promedio, la producción total de desechos de trigo, maíz, arroz y maravilla, los cuatro cultivos más importantes del punto de vista de superficie de siembra y cantidad de rastrojos dejados en el terreno y excretas de aves, bovinos, caprinos, ovinos y porcinos. Se aprecia un aumento de los materiales potencialmente biodigeribles de norte a sur, con la excepción de la VI región en que hay una mayor disponibilidad de materiales y un aumento del biogas potencialmente producido, debido al tipo de material biodigerible existente en la zona.

La producción total anual de biogas que puede generar un biodigestor está determinado por la temperatura del medio ambiente. Se determinaron áreas de producción total anual de biogas uniforme según la temperatura media mensual. A medida que se avanza hacia la zona sur la producción de biogas disminuye.

Desde el punto de vista de clima, la IV Región presenta las mejores perspectivas pero con menor porcentaje de desechos disponible. Si se aprovechara el 1% del material potencialmente disponible, estos recursos podrían abastecer unas 354 cámaras en esta región y a nivel de la zonificación realizada, se podría tener en funcionamiento 17.294 cámaras, que producirían en conjunto por año alrededor de 13.703.366 m³ de biogas, equivalente a 7.399.817 litros de petróleo. Al reciclar 10% de los materiales biodigeribles se podría obtener 137.703.660 m³ de biogas.

Tabla 1.- Producción de biogas estimada de diversos compuestos orgánicos.

Compuesto orgánico	Fórmula química	Biogas m ³ /Kg S.V.	CH ₄ m ³ /Kg S.T.
Carbohidratos	C ₆ H ₁₀ O ₅	0.75	0.37
Lípidos	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	1.44	1.44
Proteínas	C ₁₆ H ₂₄ O ₅ N ₄	0.98	0.49

Tabla 2.- Composición química de diversos desechos de origen animal y vegetal (valores promedios, base seca).

Materia Prima	Lípidos %	Proteínas %	Celulosa y Hemicelulosa %	Lignina %	Ceniza %
Paja trigo	1.10	2.10	65.45	21.60	3.53
Paja arroz	9.62	5.42	59.95	12.70	12.31
Paja centeno	2.35	12.26	30.51	10.61	12.55
Poroto verde	3.80	11.04	39.61	13.84	9.14
Pasto verde	8.05	4.94	57.22	9.80	19.99
Alfalfa	10.41	12.81	36.79	8.95	10.30
Hojas secas	4.01	3.47	32.78	29.66	4.68
Maíz caña		4.50	35.40	10.30	6.50
Bovino	3.23	9.05	32.49	35.57	19.66
Porcino	11.50	10.95	32.39	21.49	23.67
Aves	2.84	9.56	50.55	19.82	17.23
Equino	2.70	5.00	40.50	35.00	17.80
Ovino	6.30	3.75	32.00	32.00	25.95
Caprino	2.90	4.70	34.00	33.00	26.40

Tabla 3.- Niveles de nutrientes de diversos desechos de origen animal y vegetal (rango de valores).

Materia Prima	C org. %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	CaO %	MgO %
Excretas:						
Bovino	17.4-40.6	0.3-2.0	0.1-1.5	0.10	0.35	0.13
Porcino	17.4-46.0	1.1-2.5	0.4-4.6	0.30	0.09	0.10
Caprino	35.0-50.0	1.0-2.0	0.2-1.5	2.30		
Equino	35.0-52.0	0.3-0.8	0.4-1.6	0.35	0.15	0.12
Ovino	35.0-46.0	0.3-0.6	0.3-1.0	0.15	0.33	
Conejos	23.0-35.0	1.0-1.9	0.9-1.8	2.10	0.45	0.15
Aves	28.0-35.0	1.4-2.0	2.0-2.8	1.40	0.80	0.48
Patos	29.0-41.0	0.6-0.8	1.0-1.5	0.40	0.80	
Pavos	17.4-41.0	0.6-0.8	0.5-0.8	1.10	0.80	
Humanas	2.5	0.8-1.0	0.5	0.30		
Mezclas de:						
porcino+paja	20.0-22.0	0.3-0.5	0.24	0.63	0.20	
bovino+paja	44.0-46.0	0.3-0.5	0.79	1.55	0.30	
Rastrojos de:						
Caña maíz	30.0-40.0	0.8-1.8	0.4-0.6	2.40	0.50	0.49
Paja trigo	16.0-46.0	0.53	0.70	0.40	0.26	0.16
Paja avena	22.0-29.0	0.53	0.40	0.30	0.40	
Paja cebada	58.0	0.64	0.19	1.07	0.33	0.33
Paja arroz	40.0-42.0	0.64	0.60	0.40	0.60	
Paja haba	28.0-33.0	1.5-1.9	0.40	2.30	1.35	
Tomates	27.0-30.0	2.60				
Papas	30.0	0.34	0.16	0.58	0.64	
Betarraga	30.0	2.00	0.70	5.30	1.95	0.83
Rabanitos	30.0	2.50				
Hojas secas	35.0-40.0	1.00	0.30	0.20	2.00	
Aserrín	44.0	0.06	0.01	0.01		

Tabla 4.- Producción de biogas por tipo de desecho animal.

Estiércol	Disponibilidad Kg/día (a)	Relación C/N	Volumen de biogas	
			m ³ /Kg	m ³ /día/an
Bovino (500 Kg)	10.00	25:1	0.04	0.400
Porcino (50 Kg)	2.25	13:1	0.06	0.135
Aves (2 Kg)	0.18	19:1	0.08	0.014
Caprino (50 Kg)	2.00	40:1	0.05	0.100
Ovino (32 Kg)	1.50	35:1	0.05	0.075
Equino (450 Kg)	10.00	50:1	0.04	0.400
Conejo (3 Kg)	0.35	13:1	0.06	0.021
Excretas humanas	0.40	3:1	0.06	0.025

(a) El dato se refiere a la cantidad estimada de estiércol que es posible recolectar de todo lo que se produce.

Tabla 5.- Producción de biogas a partir de desechos vegetales.

Desechos	Cantidad desecho ton/ha	Relación C/N	Volumen de biogas	
			m ³ /ton	m ³ /ha
Cereales (paja)				
trigo	3.3	123:1	367	1200
maíz	6.4	45:1	514	3300
cebada	3.6	95:1	388	1400
arroz	4.0	58:1	352	1400
Tubérculos (hojas)				
papas	10.0	20:1	606	6000
betarragas	12.0	23:1	501	6000
Leguminosas (paja)				
porotos	3.2	38:1	518	1650
habas	4.0	29:1	608	1400
Hortalizas (hojas)				
tomate	5.5	12:1	603	3300
cebolla	7.0	15:1	514	3600

Tabla 6. Producción de Residuos Vegetales y Animales por Año

Especie	Ovinos	Aves	Bovinos	Caprinos	Porcinos	Trigo	Arroz	Maiz	Maravilla	Total Residuos (ton) M.S.	Porcentaje por Región y Provincia
Región y Provincia	Fecas (ton)	Fecas (ton)	Fecas (ton)	Fecas (ton)	Fecas (ton)	Rastrojo (ton)	Rastrojo (ton)	Rastrojo (ton)	Rastrojo (ton)		
IV	7483	0	38576	20047	575	36443	0	5380	0	108504	2.84
Elqui	268	0	7588	3798	126	20227	0	1452	0	33459	.88
Limari	4188	0	19478	7399	320	12961	0	3558	0	47902	1.25
Choapa	3028	0	11510	8851	129	3255	0	369	0	27143	.71
V	18214	15310	127490	3797	8861	62256	0	18376	986	255290	6.68
Petorca	2024	251	19379	659	110	4653	0	2910	571	30557	.80
Los Andes	224	271	3654	469	2291	7759	0	2614	118	17400	.46
Sn Felipe	226	184	9330	1365	1234	14591	0	8167	189	35286	.92
Guillota	2640	9891	17659	122	2024	3219	0	3911	18	39484	1.03
Valpo	4644	3931	44287	1098	2519	8372	0	584	89	65525	1.71
Sn Ant.	8455	782	33181	82	684	23663	0	190	0	67037	1.75
RM	8335	73514	190682	2879	27512	183508	0	94765	7522	588717	15.40
Santiago	410	9799	21130	264	1143	12811	0	995	423	46975	1.23
Chacabuco	1358	366	19053	1957	2287	16585	0	1979	666	44252	1.16
Cordille.	68	2679	9989	7	159	12554	0	3642	725	29823	.78
Maipo	267	15051	9424	74	8825	58444	0	22374	2497	116955	3.06
Melipilla	6117	32298	111348	529	2857	56624	0	54388	1678	265839	6.95
Talagante	115	13321	19738	49	12241	26489	0	11387	1533	84873	2.22
VI	46962	40546	185641	6634	25105	198052	29498	373815	12415	918668	24.03
Cachapoal	3914	40220	61830	1780	19900	103856	999	281837	8662	522997	13.68
Colchagua	19020	315	72983	3857	4009	72561	28486	90614	3747	295591	7.73
Card. C.	24028	11	50828	997	1196	21635	13	1364	7	100080	2.62
VII	47733	4567	336073	7582	13051	210756	100132	85194	31606	836695	21.89
Curicó	10271	1703	81241	1991	5008	58868	3028	39225	7260	208597	5.46
Talca	13424	2409	92598	2804	3183	55454	20963	23984	14233	229053	5.99
Linares	12269	375	126069	1440	4011	82069	76034	21054	10074	333394	8.72
Cauquen.	11770	80	36165	1347	848	14365	106	931	38	65650	1.72
VIII	41561	4010	561670	7497	21560	434199	31195	9996	3426	1115115	29.17
Nuble	21121	293	198947	4680	12782	256665	31195	8723	1905	536311	14.03
Biobio	13571	2751	230150	1364	3998	156879	0	1247	1517	411478	10.76
Concep.	1146	61	41415	388	1840	6944	0	22	0	51816	1.36
Arauco	5722	905	91160	1064	2940	13711	0	4	4	115510	3.02
Total	170287	137948	1440132	48436	96664	1125214	160825	587526	55955	3822989	100.00

Tabla 7. Producción de Biogás por Año a Partir de Residuos Vegetales y Animales

Especie	Dvinos	Aves	Bovinos	Caprinos	Porcinos	Trigo	Arroz	Maiz	Maravilla	Total Biogás (m3 mils)	Porcentaje por Región y Provincia	Nº Cámara Potencial 10% mat. Biodig.
Región y Provincia	Biogás (m3 mils)											
IV	1871	0	9258	5012	288	10933	0	2690	0	30051	2.42	3339
Elqui	67	0	1821	950	63	6068	0	726	0	9695	.78	1077
Limari	1047	0	4675	1850	160	3888	0	1779	0	13398	1.08	1489
Choapa	757	0	2762	2213	65	977	0	185	0	6958	.56	773
V	4553	9186	30598	949	4430	18677	0	9188	296	77878	6.26	9162
Petorca	506	151	4651	165	55	1396	0	1455	171	8550	.69	1006
Los Andes	56	163	877	117	1145	2328	0	1307	35	6028	.48	709
San Felipe	57	111	2239	341	617	4377	0	4084	57	11882	.96	1398
Quillota	660	5935	4238	31	1012	966	0	1956	6	14802	1.19	1741
Valparaíso	1161	2359	10629	274	1260	2512	0	292	27	18513	1.49	2178
San Antonio	2114	469	7963	21	342	7099	0	95	0	18103	1.46	2130
RM	2084	44108	45764	720	13756	55052	0	47382	2257	211123	16.97	26390
Santiago	102	5879	5071	66	572	3843	0	497	127	16158	1.30	2020
Chacabuco	340	220	4573	489	1143	4976	0	989	200	12930	1.04	1616
Cordillera	17	1607	2397	2	80	3766	0	1821	218	9908	.80	1238
Maipo	67	9030	2262	18	4412	17533	0	11187	749	45259	3.64	5657
Melipilla	1529	19379	26723	132	1429	16987	0	27194	503	93877	7.55	11735
Talagante	29	7993	4737	12	6121	7947	0	5694	460	32992	2.65	4124
VI	11740	24328	44554	1658	12553	59416	11799	186908	3725	356680	28.68	44585
Cachapoal	979	24132	14839	445	9950	31157	400	140918	2599	225418	18.12	28177
Colchagua	4755	189	17516	964	2004	21768	11394	45307	1124	105022	8.44	13128
Cardenal	6007	7	12199	249	598	6490	5	682	2	26240	2.11	3280
VII	11933	2740	80658	1896	6525	63227	40053	42597	9482	259111	20.83	32389
Curicó	2568	1022	19498	498	2504	17661	1211	19613	2178	66752	5.37	8344
Talca	3356	1446	22223	701	1592	16636	8385	11992	4270	70601	5.68	8825
Linares	3067	225	30257	360	2005	24621	30414	10527	3022	104498	8.40	13062
Cauquenes	2942	48	8680	337	424	4309	42	465	12	17260	1.39	2157
VIII	10390	2406	134801	1874	10780	130260	12478	4998	1028	309015	24.84	41202
Ñuble	5280	176	47747	1170	6391	77000	12478	4362	571	155175	12.48	20690
Biobío	3393	1651	55236	341	1999	47064	0	624	455	110762	8.90	14768
Concepción	287	37	9939	97	920	2083	0	11	0	13374	1.08	1783
Arauco	1431	543	21878	266	1470	4113	0	2	1	29704	2.39	3961
Total	42572	82769	345632	12109	48332	337564	64330	293763	16787	1243857	100.00	157067

Establecimiento de áreas de producción anual de biogas.

Las áreas de producción total anual de biogas uniforme según la temperatura media mensual definió tres grandes categorías de generación de biogas: 950 - 850 - 750. De acuerdo con estas categorías, se estimó la capacidad de satisfacer mensualmente las necesidades de biogas para algunas actividades, cuando se dispone de un digestor tipo batch con 3 cámaras ($6m^3$ por cámara).

Tabla 8. Disponibilidad mensual de biogas para algunas actividades por categorías de producción.

Mes	Biogas m^3 /mes	Cocinar 5 hr/d 5 pers	Iluminar 3 hr/d # luces	Refrigerador tamaño 1/2	Uso motores (1 hp) hr/mes
CATEGORIA 950.					
Enero	360	Si	4	Si	443
Febrero	360	Si	4	Si	443
Marzo	240	Si	4	Si	309
Abril	165	Si	4	Si	176
Mayo	120	Si	4	Si	9
Junio	120	Si	4	No	0
Julio	120	Si	4	No	0
Agosto	120	Si	4	No	0
Sept.	165	Si	4	Si	9
Octubre	240	Si	4	Si	176
Nov.	300	Si	4	Si	309
Dic.	360	Si	4	Si	443
CATEGORIA 850.					
Enero	360	Si	4	Si	443
Febrero	330	Si	4	Si	376
Marzo	285	Si	4	Si	276
Abril	210	Si	4	Si	109
Mayo	135	Si	4	No	0
Junio	90	Si	3	No	0
Julio	90	Si	3	No	0
Agosto	90	Si	3	No	0
Sept.	135	Si	4	No	0
Oct.	210	Si	4	Si	109
Nov.	285	Si	4	Si	276
Dic.	330	Si	4	Si	376

...continuación de la Tabla 8.

CATEGORIA 750.

Enero	375	Si	4	Si	476
Febrero	330	Si	4	Si	376
Marzo	270	Si	4	Si	243
Abril	180	Si	4	Si	43
Mayo	90	Si	3	No	0
Junio	45	No	3	No	0
Julio	45	No	3	No	0
Agosto	45	No	3	No	0
Sept.	90	Si	3	No	0
Oct.	180	Si	4	Si	43
Nov.	270	Si	4	Si	243
Dic.	330	Si	4	Si	376

Cuadro 1.- Producción potencial de biogas: IV a VIII Región

Región	Producción Máxima m ³ /cámara/año	Producción Promedio m ³ /cámara/año	Nº de cámaras con 1% Material biodigerible
IV	1000	900	354
V	900	850	970
RM	850	800	2891
VI	850	800	5228
VII	800	800	3544
VIII	800	750	4307

PRESENTACION RESUMEN PARA PUBLICACION FIA

1.- Objetivos generales del proyecto de investigación.-

- Establecer las condiciones que permitan la versatilidad en el manejo de materias primas y productos finales en la biodigestión anaeróbica.

- Establecer los parámetros básicos que permitan obtener una recuperación de la energía potencial contenida en los desechos agropecuarios y una estabilización de estos desechos con higiene/control de microorganismos patógenos.

- Determinar la viabilidad técnica de esta operación en relación a la disponibilidad de recursos agropecuarios y a la determinación de zonas de comportamiento térmico atmosférico homogéneo.

2.- Institución ejecutora del trabajo de investigación.-

UNIVERSIDAD DE CHILE:

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas

2.1.- Investigador principal.-

María Teresa Varnero M. (Químico Farmacéutico)

Coinvestigadores.-

José Arellano V. (Constructor Civil)

Carlos Benavides Z. (Ingeniero Agrónomo)

Fernando Santibáñez Q. (Ingeniero Agrónomo Dr. Est.)

Norma Sepúlveda B. (Ingeniero Agrónomo)

Natascha Venegas C. (Lic. Biología)

Adriana Carrasco R. (Químico Ms.)

2.2 Financiamiento.-

Fondo Investigación Agropecuaria (FIA)

Consejo de Educación de Adultos de América Latina (CEAAL)

Universidad de Chile

3.- Período de ejecución: 1987 - 1990.

4.- Metodología utilizada en la ejecución del trabajo.-

a) Información meteorológica del país , tomada de la base de datos del Laboratorio de Agroclimatología de la Fac. Ciencias Agrarias y Forestales.

Se consideró las temperaturas medias mensuales para determinar áreas de comportamiento térmico similar en que puedan funcionar biodigestores del tipo batch. El criterio para aceptar un área es tener a lo menos cuatro meses al año, temperaturas promedio mensual igual o superior a 14 C.

b) Estimación de la disponibilidad de desechos agropecuarios del país por localidad, basado en información del Instituto Nacional de Estadísticas de los últimos 10 años de la superficie sembrada y rendimiento de los cultivos anuales más sembrados en el país, y las especies pecuarias con mayor cantidad de desechos por zona.

c) Información de la producción de biogas mensual del biodigestor tipo batch, compuesto de tres cámaras de 6 m³ cada una y un gasómetro de 5 m³ de capacidad, ubicado en el Campus Antumapu, Fac. Cs. Agrarias y Forestales.

Se obtuvo una regresión lineal basada en esta información:

$$Y = -2.5768 + 0.35462X$$
$$r^2 = 0.973082$$

Y = producción de biogas mensual/m³

X = temperatura media mensual de la estación meteorológica.

La integración de esta información con la existente en el país sobre la disponibilidad de materias primas agropecuarias biodigeribles, permitió delimitar zonas ecológicas con posibilidades de desarrollar esta tecnología

d) Selección y determinación de los desechos agropecuarios típicos producidos por el "pequeño agricultor".

Para los efectos de este proyecto, se consideró "pequeño agricultor" aquellos propietarios de predios menores a 20 hectáreas, que presenten escasez de recursos de todo tipo y que precisen de energía y fertilizantes para elevar sus condiciones de vida.

Se utilizó la información obtenida de la encuesta realizada a 497 predios agrícolas de una comuna representativa de los pequeños agricultores del país (Comuna de Lampa). Esta encuesta se efectuó para un estudio de factibilidad de implantación de biodigestores en una zona rural del país (Finger y Goudie, 1984). Además se hizo un seguimiento de las actividades desarrolladas por una unidad agrícola experimental y demostrativa de una hectárea de riego básico manejada por el CEAL desde 1987-1988.

e) Caracterización química y biológica de los desechos agropecuarios típicos y de los productos obtenidos de la biodigestión anaeróbica de los desechos.

Se efectuaron los siguientes análisis:

- Sólidos totales, sólidos volátiles, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno (Standars Methods for the Examination Water and Waste Water, 1976).
- Materia orgánica, conductividad eléctrica, pH, NPK totales y NPK mineral (según métodos descritos en Black, 1965).
- Actividad y calidad biológica (Rusch, 1973).
- Recuento total de microorganismos mesófilos, coliformes, salmonellas, hongos (Thacher, 1973).

Estos análisis se realizaron en el Lab. de Reciclaje Orgánico y en el Lab. de Microbiología de Alimentos de la Fac. Cs. Agrarias y Forestales y en el Lab. Químico, Sección Ing. Sanitaria y Ambiental de la Fac. Cs. Físicas y Matemáticas.

f) Caracterización agronómica de los bioabonos.

Se efectuaron ensayos de invernadero y de campo para estudiar el efecto de la aplicación de diferentes dosis y tipo de bioabono sobre algunas propiedades físicas, químicas y microbiológicas de los suelos.

Se realizaron análisis de fertilidad de los suelos seleccionados, antes y después de cada cultivo, según métodos descrito en Black (1965) (Lab. Química de Suelos).

Se trabajó con algunos cultivos hortícolas, leguminosas, de chacarería y frutales. Se determinó peso fresco, materia seca a 70-75°C y otros parámetros según el cultivo.

El diseño experimental del ensayo frutal (kiwi) correspondió a tres tratamientos de bioabono más el testigo distribuidos al azar, con cinco repeticiones por tratamiento, siendo la unidad experimental la planta de kiwi. Para el análisis estadístico, se realizó ANDEVA y la prueba de rango múltiple de Duncan. Este ensayo se ubicó en el ex predio La Cervera, Linderos. parte sur de la comuna de Buin.

Los ensayos de sistemas de rotación de cultivos: leguminosa-cereal-chacarería, se realizaron en la parcela experimental y demostrativa "Centro El Canelo de Nos" perteneciente al CEAAL, ubicada en Nos, comuna de San Bernardo. Los ensayos se enmarcaron dentro de un diseño completamente aleatorizado, con 12 tratamientos y cuatro repeticiones. Los resultados de los análisis se sometieron a análisis de varianza y prueba de rango múltiple de Duncan.

Los ensayos de invernadero se realizaron en la Fac. Cs. Agrarias y Forestales y correspondieron a un diseño completamente al azar Se realizó análisis de varianza y test de Duncan.

g) Montaje y funcionamiento de baterías de biodigestores de laboratorio, de 1 litro de capacidad.

Se mantuvo en funcionamiento esta batería de 25 - 30 biodigestores experimentales, para incubar en condiciones controladas las diferentes materias primas, simulando sistemas batch y variando parámetros de temperatura, tiempo de retención, niveles de sólidos totales, entre otros. El objetivo de estos ensayos era obtener información en corto plazo sobre el proceso de biodigestión de las materias primas seleccionadas y caracterizar química y microbiológicamente los residuos estabilizados. Además estos ensayos se orientaron en la búsqueda de materias primas que actúen como aceleradores del inicio de la metanización en el digestor para aumentar la eficiencia del proceso.

5.- Resultados y conclusiones.-

a) El proceso de biodigestión anaeróbica de los desechos agropecuarios, así como la cantidad de biogas que se produce por volumen o unidad de masa de materia prima, es muy variable, siendo función de la temperatura, de la materia prima disponible, de la concentración de sólidos y del tipo de digestor.

4.2 b) La temperatura de fermentación en el biodigestor es determinante en la velocidad y producción de biogas, no así en la cantidad final de gas producido. El metano se produce dentro de un rango relativamente amplio de temperaturas (15 - 55°C), sin embargo, los microorganismos metanogénicos son muy sensibles a cambios de temperaturas, afectándose la producción de biogas. Para el desarrollo óptimo del proceso, se distinguen dos rangos de temperaturas: el mesófilo (25-45 C) y el termófilo (50-60 C).

4.3 c) La optimización del funcionamiento de los digestores depende, entre otros, de la temperatura del sistema anaeróbico y de las características de la materia primas disponibles en el medio rural.

4.4 d) La factibilidad de implementar la tecnología del biogas en Chile está sujeta en primer lugar a la disponibilidad potencial de materias primas y a las temperaturas medias atmosféricas. Los resultados obtenidos indican que las zonas ecológicas con posibilidades de desarrollar esta tecnología están comprendidas entre la IV y VIII Región.

4.5 e) Desde el punto de vista de clima, la IV Región presenta las mejores perspectivas pero con menor porcentaje de desechos disponible para procesar. A medida que se avanza hacia la zona sur, aumenta la disponibilidad de materias primas pero disminuye la producción de biogas, prolongándose significativamente el tiempo de retención hidráulico en el período de bajas temperaturas atmosféricas.

4.6 f) Los resultados de los controles microbiológicos en los

residuos estabilizados por biodigestión anaeróbica reflejan una drástica reducción de los microorganismos patógenos, mejorando las condiciones sanitarias y problemas de contaminación.

4.7 g) La incorporación de bioabonos al suelo, mejora la fertilidad natural del suelo y por lo tanto la productividad, permitiendo atenuar la dependencia de los fertilizantes químicos, disminuyendo costos de producción y desequilibrio ecológico. El mayor impacto del reciclaje de materias orgánicas se produce en explotaciones campesinas, caracterizadas por pequeñas superficies, limitado capital de trabajo y techos de producción moderados o bajos.

4.8 h) Los resultados de los ensayos de campo indican que la dosis umbral de abonos orgánicos está en torno a las 30 ton/ha. En estas condiciones, las necesidades de nutrientes, especialmente nitrógeno, son menores. Si el sistema de manejo está basado en incorporación de abonos orgánicos en dosis bajas, implica un período de transición, en el cual se produce un paulatino incremento de nutrientes y mejoramiento de las propiedades físicas del suelo.

4.9 i) Los abonos orgánicos actúan como acondicionadores de suelos y en este sentido los hace interesante en cualquier plan de manejo de la productividad a mediano y largo plazo. Esto permite la incorporación de terrenos marginales con condiciones climáticas excepcionales.

6. Recomendaciones.-

Hacer una difusión de la utilización de los desechos agropecuarios disponibles en los predios agrícolas, sobretodo a nivel de pequeños agricultores, indicando que un correcto manejo de estos desechos puede constituir un recurso interesante, representando una alternativa para mejorar la capacidad productiva de los suelos, compatible con una agricultura de bajos insumos. Además representa una vía de descontaminación y eliminación de desechos, contribuyendo al control sanitario y equilibrio ecológico.

El correcto manejo de los desechos agropecuarios se logra a través de diferentes tratamientos que implican un reciclaje de las materias orgánicas. Estos tratamientos pueden ser mediante digestión aeróbica o anaeróbica; en ambos casos, se obtiene un producto estabilizado que representa un valor agregado, que es inodoro, rico en nutrientes y libre de microorganismos patógenos. En la biodigestión anaeróbica además se obtiene energía gaseosa (biogas) para uso doméstico o agroindustrial.