

**Programa de aprovechamiento de residuos agropecuarios para
autoabastecimiento energético en los hogares rurales a través de sistemas
de producción de Biogás.**

John Anderson Rincón Moreno

Universidad del Tolima

Facultad de Ingeniería Agronómica

**Plan de Energización Rural Sostenible para el Departamento del Tolima –
PERS Tolima**

Ibagué

2015

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	3
OBJETIVO GENERAL.....	5
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	6
ANTECEDENTES	7
JUSTIFICACIÓN	8
METODOLOGÍA.....	12
ARBOL DE PROBLEMAS Y OBJETIVOS.....	13
ANALISIS FINANCIERO	16
Bibliografía.....	21

INTRODUCCIÓN

El deficiente acceso a los servicios energéticos básicos como electricidad, combustibles líquidos y gas natural son aún una problemática en el mundo. Aproximadamente el 20% de la población mundial no poseen energía eléctrica y cerca del 45% de la población mundial depende de combustible sólidos como la leña, residuos agrícolas, estiércol y carbón para satisfacer sus necesidades de cocción. En Latinoamérica y el Caribe cerca del 3% de la población depende de los combustibles sólidos para cocción y el 2% de la población no cuenta con acceso a la electricidad (Surendra, Takara, , Hashimoto,, & Khanal, 2014).

Tabla 1 Total hogares de acuerdo al combustible o fuente de energía para cocinar en el Departamento del Tolima

Municipios	Ninguno	Electricidad	Gas Natural Domiciliario	Gas propano	Gasolina, Alcohol	Carbón mineral	Leña, carbón	Total Elementos para Cocinar
Total Departamento	11323	2904	120541	69923	1700	153	97491	304035
% Participación	3,7%	1,0%	39,6%	23,0%	0,6%	0,1%	32,1%	100%

Fuente: Base certificada DNP – Mayo 2012

En el caso del Departamento del Tolima según la Tabla 1, el 3,7% de la población no cuenta con ninguna fuente de energía para cocinar y el 32,2% de la población depende de los combustibles sólidos para cocción, siendo la leña el principal combustible de cocción, convirtiéndola en una de las principales fuentes de gases de efecto invernadero en las áreas rurales, por lo tanto su sustitución con biomasa pueden llevar a sustanciales reducciones en la emisión de estos gases y a el mejoramiento de la calidad de vida en las zonas rurales (Garfí, M. , Ferrer-Martí, L. , Velo, E., & Ferrer, I, 2012).

En ese sentido la biomasa destaca por su potencial en Colombia, ya que esta es la segunda mayor fuente de energía renovable, contribuyendo al 67% de la electricidad renovable generada, al 4,2% de la oferta energética en el sector transporte y al 3,9% del suministro total de energía primaria. Entre los estudios, cinco categorías son consideradas relevantes para Colombia: residuos agrícolas, residuos de animales, silvicultura y la industria de la madera, biocombustible y desperdicios urbanos (Gonzalez-Salazar, y otros, 2014).

Entre estas categorías cabe resaltar los residuos agrícolas y animales, los cuales a través de un proceso de descomposición y sin la presencia de aire, proceso conocido como digestión anaerobia, hace que se produzca gas y lodo. Los beneficios de utilizar digestión anaeróbica, incluyen la producción de energía renovable y un fertilizante líquido así como 50-90% de reducción en contaminantes orgánicos. La utilización del biogás con metano enriquecido también reduce la cantidad de este gas de efecto invernadero que es liberado al ambiente debido al tradicional sistema de tratamiento del estiércol. Beneficios adicionales de la digestión anaeróbica incluyen reducción en olores y patógenos asociados con el estiércol (Ciotola, Lansing, , & Martin, , 2011).

Para lograr que este proceso de digestión anaerobia se realice óptimamente se debe construir un sistema de producción de biogás, compuesto de la recolección de residuos ya sea agrícola o animal o una mezcla de estos, un biodigestor, un reservorio de gas y una tubería de conducción del biogás.

En consecuencia, el propósito de este proyecto es mejorar la calidad de vida de las familias rurales, suministrándoles una solución de combustibles limpios que sustituyan los tradicionales combustibles sólidos mediante la implementación de sistemas de producción de biogás. Asimismo el proyecto pretende preservar el ambiente a través de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la deforestación, disminución en los gastos fijos familiares para combustible o fertilizante y reducción del tiempo usado por las familias para la recolección de madera.

OBJETIVO GENERAL

Establecer e implementar un sistema de producción de biogás para el aprovechamiento energético de la materia orgánica residual en los hogares rurales del departamento del Tolima.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ❖ Impulsar la implementación del sistema de producción de biogás a la población objetivo para garantizar la sostenibilidad del programa
- ❖ Instalar 20 biodigestores en los hogares rurales del departamento del Tolima para favorecer la productividad y las buenas prácticas agropecuarias
- ❖ Capacitar a la comunidad en el uso eficiente de energía, aplicando en forma práctica los sistemas de producción de biogás.
- ❖ Promover la producción de biogás para utilización en cocción de alimentos y procesos productivos, así como el uso de biofertilizante.

ANTECEDENTES

La promoción de la tecnología de biogás por gobiernos nacionales en Latinoamérica es relativamente débil, no obstante programas de biogás han sido establecidos en Perú, Bolivia, Guatemala Y Colombia desde la década de los 80, siendo ampliamente adoptados los biodigestores de bajo costo entre los pequeños agricultores con restricciones financieras (Cheng, y otros, 2014).

Estos biodigestores son construidos usando películas de polietileno tubular, siendo enterrados en zanjas y con cobertizos techados para proveer aislamiento, asimismo no cuentan con sistemas de calentamiento o agitación, la materia prima pasa a través de tanques de PVC, mientras el biogás es recolectado por una tubería hacia un reservorio y luego este biogás es transportado directamente para ser usado en la cocción reemplazando así los combustibles sólidos. Se caracterizan por un diseño simple, bajos costos y facilidad de instalación así como de operación y mantenimiento, además no requiere mano de obra especializada (Garfí, M. , Ferrer-Martí, L. , Velo, E., & Ferrer, I, 2012).

En el Departamento del Tolima los sistemas de producción de biogás promocionado mediante iniciativas de entidades gubernamentales han adoptado la tecnología arriba mencionada y su implementación en las zonas rurales se ha enfocado en el sector porcícola, instalando 53 biodigestores desde el 2007, bajo los siguientes convenios; el convenio N° 10F entre CORTOLIMA y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2007) (18 biodigestores); el Convenio No. 072 entre CORTOLIMA y la Secretaría de Desarrollo Rural y Medio Ambiente (2009) (12 biodigestores); el Convenio No. 012 entre CORTOLIMA y la Secretaría de Desarrollo Rural y Medio Ambiente (2011) (11 biodigestores) y el Convenio No. 035 del 17 de septiembre de 2012, suscrito entre CORTOLIMA y la Secretaría de Desarrollo Rural y Medio Ambiente (12 biodigestores) (CORTOLIMA, 2012).

Con el establecimiento de biodigestores de flujo continuo a través de la ejecución de estos convenios se lograron las medidas efectivas que redujeran las toneladas de estiércol vertidas a las fuentes hídricas o al suelo y a su vez la producción de biogás para la cocción de alimentos en el hogar y la calefacción de lechones, generando impactos positivos en temas ambientales, productivos y socioeconómicos.

JUSTIFICACIÓN

La reducción en la emisión de gases de efecto invernadero, deforestación, gastos en combustibles y fertilizantes, carga de trabajo y tiempo empleado para recolección de madera, son factores para mejorar la calidad de vida de las familias rurales al igual que la preservación del medio ambiente y pueden ser logrados con el aprovechamiento de residuos agropecuarios a través de sistemas de producción de Biogás. Estos sistemas se caracterizan por su bajo costo, vida útil aproximada de 10 años, facilidad de instalación, diseño simple, mantenimiento y operación prácticos, haciendo así posible la adopción de esta tecnología por parte de los beneficiarios.

Estos beneficiarios estarán ubicados en las zonas rurales del Departamento del Tolima y deben reunir una serie de criterios para convertirse en usuarios del sistema tales como: bajos ingresos, disponibilidad de estiércol en sus fincas y falta de cocinas mejoradas. En ese sentido las zonas del Departamento del Tolima que presenten estos criterios de forma más crítica, serán las zonas que tendrán priorización en la selección de beneficiarios de este proyecto.

Tabla 2 Total hogares de acuerdo al combustible o fuente de energía para cocinar

Municipios	Ninguno	Electricidad	Gas Natural Domiciliario	Gas Propano	Gasolina, Alcohol	Carbón mineral	Leña, Carbón	Total
IBAGUE	1915	998	66952	15570	504	12	6560	92511
ALPUJARRA	37	6		356	3		1119	1521
ALVARADO	102	26	725	391	6	2	1457	2709
AMBALEMA	133	24	1027	601	5		324	2114
ANZOATEGUI	49	3		480	5	1	1831	2369
ARMERO-GUAYABAL	98	56	1652	698	5	18	879	3406
ATACO	135	17		1041	6	2	3826	5027
CAJAMARCA	204	31		2672	39	5	2041	4992
CARMEN DE APICALA	99	43	1030	1032	2		413	2619
CASABIANCA	46	12	189	168	7	2	1165	1589
CHAPARRAL	495	134	3114	2554	62	7	6507	12873
COELLO	91	18	129	437	8	6	1552	2241
COYAIMA	99	29	9	957	6	7	2492	3599
CUNDAY	86	19		718	16	2	1934	2775
DOLORES	55	11		924	32	4	1943	2969
ESPINAL	1291	227	8344	7010	388	7	3403	20670
FALAN	56	8	241	383	5	4	1325	2022
FLANDES	481	54	1846	2390	131	4	836	5742
FRESNO	566	72	2683	1653	34	1	4239	9248
GUAMO	144	108	3158	2196	31	8	3942	9587
HERVEO	19	15	508	295	6		933	1776
HONDA	116	73	3179	2017	20		287	5692
ICONONZO	93	16	746	347	6	3	1552	2763
LERIDA	185	40	3453	979	7	1	625	5290
LIBANO	540	98	4189	1680	89	3	3523	10122
MARIQUITA	553	198	4666	2477	16	5	2337	10252

MELGAR	564	117	3029	3821	14	2	853	8400
MURILLO	22	5		298	6	1	635	967
NATAGAIMA	91	18	789	312	5	2	1402	2619
ORTEGA	246	18	568	433	8	3	4610	5886
PALOCABILDO	72	4	278	527	13	6	1595	2495
PIEDRAS	66	9	551	609	22	1	526	1784
PLANADAS	458	95	1	1818	29	3	4523	6927
PRADO	85	10		1140	2		1497	2734
PURIFICACIÓN	373	20	2280	1411	12	13	2812	6921
RIOBLANCO	212	33		1475	17	1	3723	5461
RONCESVALLES	20	6		435	7	2	1145	1615
ROVIRA	206	45	8	1944	22	2	4730	6957
SALDAÑA	326	32	1567	1199	28		1016	4168
SAN ANTONIO	120	25		934	13	3	2485	3580
SAN LUIS	87	49	768	901	9	1	2063	3878
SANTA ISABEL	31	10		611	9		1056	1717
SUAREZ	60	4		355	2	3	847	1271
VALLE DE SAN JUAN	67	14	501	161	5		901	1649
VENADILLO	313	23	2064	488	6		1260	4154
VILLAHERMOSA	69	11	297	580	14	4	1692	2667
VILLARICA	147	20		445	18	2	1075	1707
TOTAL	11323	2904	120541	69923	1700	153	97491	304035
DEPARTAMENTO								
% PARTICIPACIÓN	3,7%	1,0%	39,6%	23,0%	0,6%	0,1%	32,1%	100%

Fuente: Base certificada DNP – Mayo 2012

De acuerdo a la Tabla 2, en el Departamento del Tolima los hogares que cuentan con combustible sólido (carbón y/o leña) o ningún tipo de combustible o fuente de energía para cocinar representan 35,9% del total de hogares, no obstante en 16 municipios del Departamento se concentra más del 65% de los hogares que utilizan estos combustibles contaminantes para cocción, por ende es en estas zonas donde debe ir priorizada la implementación del programa.

Tabla 3. Cantidades necesarias requeridas para sistema de Biogás

Especie	# Cabezas necesarias/1m³ Biogás
Ganado vacuno	2-3
Ganado porcino	5-6
Aves	90-100

Fuente: (UPME, 2012)

Adicional a las fuentes de energía o combustible para cocción, es importante sumar al análisis las zonas donde la mayor cantidad de estiércol esté disponible, tal como se muestra en la Tabla 3 se debe asegurar las cabezas necesarias por especie para producir 1 m³ biogás, por lo tanto es importante destacar aquellas zonas donde la cantidad de material orgánico a utilizar sea suficiente para producir biogás. En ese sentido, este proyecto se centrara en la población porcícola, tal como otras entidades han priorizado e implementado con éxito el sistema de producción de Biogás.

Tabla 4. Población porcina por municipio en el Departamento del Tolima.
2000-2010.

MUNICIPIO	REGION	PORCINOS
Alpujarra	CENTRO ORIENTE	171
Alvarado	CENTRO ORIENTE	1844
Anzoátegui	CENTRO ORIENTE	741
Cajamarca	CENTRO ORIENTE	5218
Carmen de Apicalá	CENTRO ORIENTE	1096
Coello	CENTRO ORIENTE	2470
Cunday	CENTRO ORIENTE	3219
Dolores	CENTRO ORIENTE	1683
Espinal	CENTRO ORIENTE	1231
Flandes	CENTRO ORIENTE	483
Guamo	CENTRO ORIENTE	8140
Ibagué	CENTRO ORIENTE	7879
Icononzo	CENTRO ORIENTE	618
Melgar	CENTRO ORIENTE	1372
Piedras	CENTRO ORIENTE	943
Prado	CENTRO ORIENTE	2444
Purificación	CENTRO ORIENTE	3846
Rovira	CENTRO ORIENTE	1825
Saldaña	CENTRO ORIENTE	1240
San Luis	CENTRO ORIENTE	1587
Suárez	CENTRO ORIENTE	619
Valle de San Juan	CENTRO ORIENTE	817
Villarrica	CENTRO ORIENTE	1505
Ambalema	NORTE	1165
Armero	NORTE	1347
Casabianca	NORTE	701
Falan	NORTE	951
Fresno	NORTE	1459
Herveo	NORTE	5218
Honda	NORTE	6194
Lérida	NORTE	3605
Líbano	NORTE	3111
Mariquita	NORTE	4613
Murillo	NORTE	1214

Palocabildo	NORTE	1240
Santa Isabel	NORTE	479
Venadillo	NORTE	1082
Villahermosa	NORTE	908
Ataco	SUR	1428
Chaparral	SUR	4281
Coyaima	SUR	2787
Natagaima	SUR	2772
Ortega	SUR	10845
Planadas	SUR	2477
Roncesvalles	SUR	1519
San Antonio	SUR	3759

Fuente: (Gobernación del Tolima, 2010)

Tomando como referencia aquellos municipios con la mayor concentración de hogares utilizando combustible sólido (carbón y/o leña) o ningún tipo de combustible o fuente de energía para cocinar (Tabla 3), estos representan más del 55% del total de municipios con población porcina en el Departamento del Tolima (Tabla 4), resaltando que de este porcentaje solo 6 municipios (Cajamarca, Guamo, Ibagué, Mariquita, Chaparral y Ortega) tienen más del 60% del inventario porcino.

De acuerdo con los rangos de puntaje por Área y Nivel del Régimen Subsidiado, el municipio de los anteriores mencionados (Cajamarca, Guamo, Ibagué, Mariquita, Chaparral y Ortega) con porcentaje más alto de personas localizados en niveles de pobreza 1 y 2 del SISBEN, indicará la focalización del sistema de producción de biogás.

METODOLOGÍA

- **Número de usuarios seleccionados:**

Selección de 20 usuarios en los hogares rurales de 1 municipio del Departamento del Tolima bajo criterios de compromiso integral y sostenible del sistema de producción de Biogás a ser implementado.

- **Capacitación usuarios seleccionados:**

Apropiación del conocimiento en uso racional y eficiente de energía utilizando los sistemas de producción biogás.

- **Numero de biodigestores instalados en 1 municipio del Departamento del Tolima:**

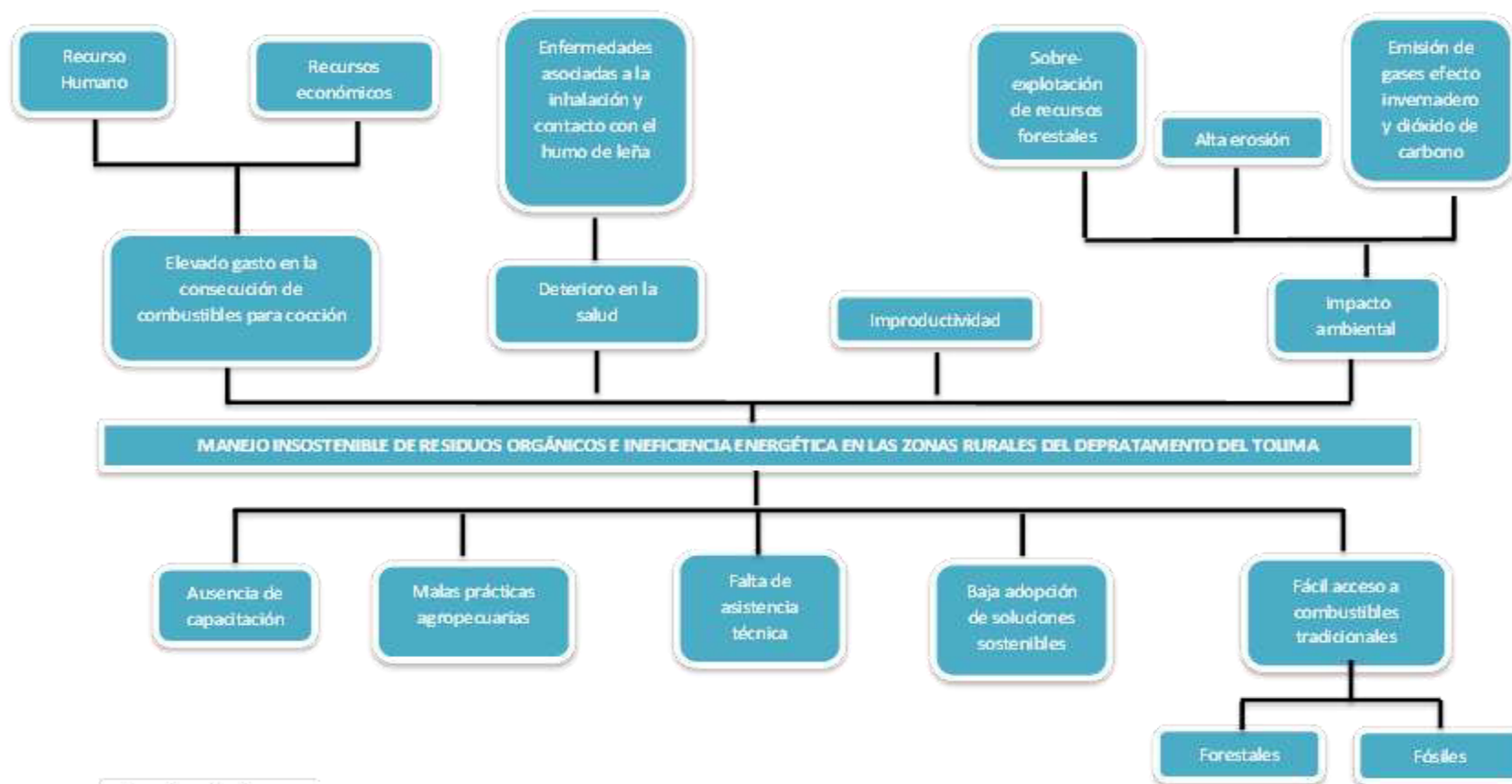
Instalar 20 sistemas de producción de biogás en los hogares rurales de los usuarios seleccionados de 1 municipio del Departamento del Tolima

- **Producción de biogás:**

Utilización de biogás para cocción de alimentos producido por el sistema de biodigestores y utilización de biogás para procesos productivos que beneficien las familias en los hogares rurales pertenecientes al programa de sistemas de producción de biogás.

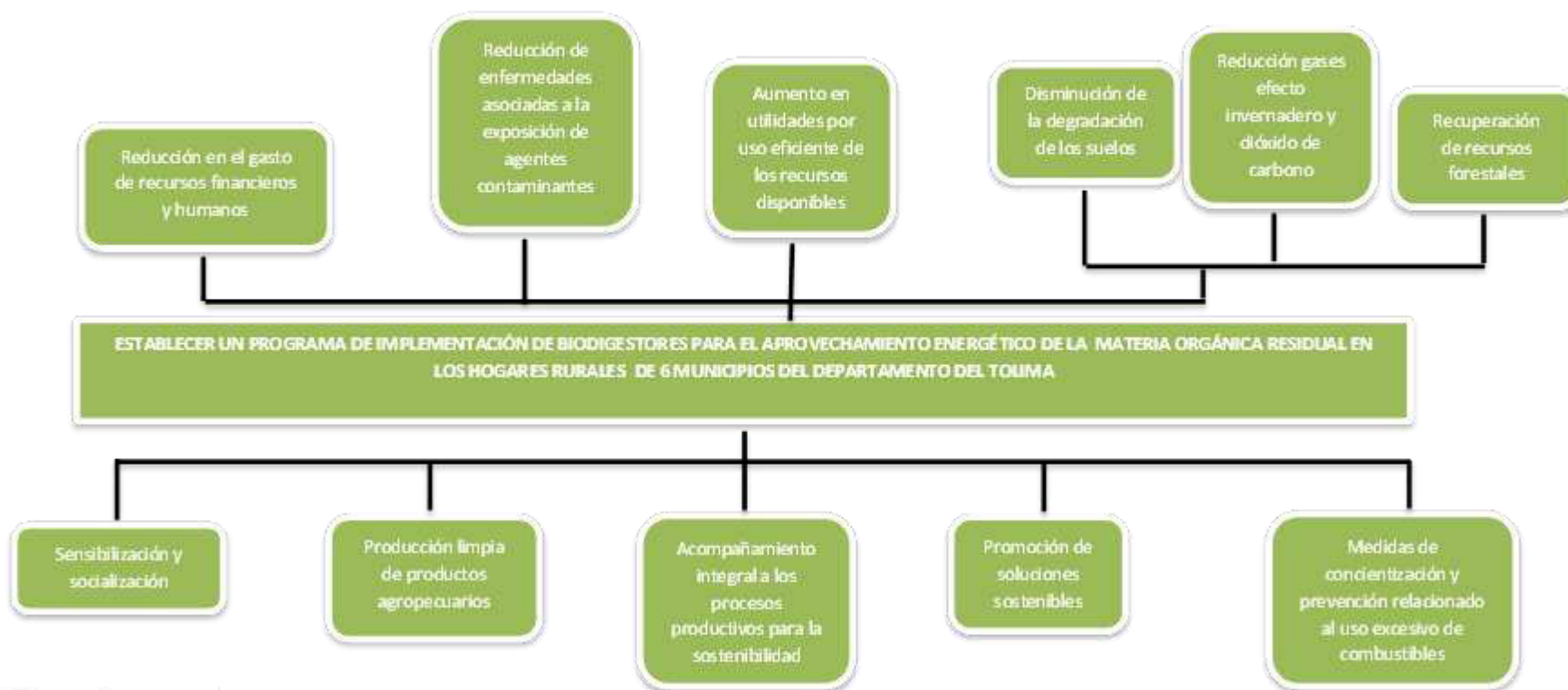
ARBOL DE PROBLEMAS Y OBJETIVOS

ÁRBOL DE PROBLEMAS



Fuente: Autor

ÁRBOL DE OBJETIVOS



Fuente: Autor

ANALISIS FINANCIERO

INVERSIONES

CONCEPTO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (\$)	VALOR TOTAL (\$)	PARAMETRO DE DEPRECIACIÓN	DEPRECIACIÓN ANUAL \$
Maquinaria y equipo					
Sistema completo de biodigestor en geomembrana de 750 micras de 1,0 m de diámetro X 10 m de largo (2 tanques de registro de 500 lt plásticos, red de gas de 50 m, estufa a biogás, puesta en sitio)	20	1500000	30000000	10%	3000000
Reservorio de biogás 3 m3	20	160000	3200000	10%	320000
Marcación de accesorios biodigestor y cartilla de manejo	20	50000	1000000	10%	100000
Total maquinaria y equipo			34200000		3420000

Infraestructura	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (\$)	VALOR TOTAL (\$)	PARAMETRO DE DEPRECIACIÓN	DEPRECIACIÓN ANUAL \$
Obras civiles (Encerramiento, recubrimiento, reforzamiento, mano de obra)					
Malla pajarito 0,90 cm de largo x 30 m de largo	20	86900	1738000	10%	173800
Cubierta metálica teja de zinc ondulada 3,65 m de largo x 0,80 m de ancho (9 unidadesxbiodigestor)	180	20900	3762000	10%	376200
Mano de obra excavación, refuerzo de taludes, encerramiento e instalación de techos (15 jornalesxbiodigestor)	300	35000	10500000	NA	NA
Cerco en madera IGÜA	20	68000	1360000	10%	136000
Revestimiento en concreto	40	25000	1000000	10%	100000
Total infraestructura			18360000		786000

Montaje	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (\$)	VALOR TOTAL (\$)	PARAMETRO DE DEPRECIACIÓN	DEPRECIACIÓN ANUAL \$
Servicio instalación de biodigestores	20	400000	8000000	NA	NA
Total otros			8000000		

Total activos fijos	52560000
----------------------------	-----------------

Total inversiones	60560000
--------------------------	-----------------

COSTOS DE OPERACIÓN

MENSUAL				
CONCEPTO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO \$	VALOR TOTAL MENSUAL \$	VALOR TOTAL ANUAL \$
Mano de obra	20	8055	4833000	57996000
Kit reparación	20	10000		200000
Mantenimiento	20	107400		2148000

	2015	2016	2017	2018	2019
Total costo de operación	60344000	62275008	64267808	66356512	68513099

COSTOS ADMINISTRATIVOS

CONCEPTO	VALOR ANUAL \$
COSTOS ADMINISTRATIVOS GENERALES	3.017.200
Acompañamiento ambiental (Cortolima)	10000000

	2015	2016	2017	2018	2019
Total costos administrativos	13.017.200	13.433.750	13.863.630	14.314.198	14.779.410

INGRESOS

INGRESOS	2015	2016	2017	2018	2019
Generación combustible renovable	960000	990720	1022423,04	1055651,79	1089960,47
Ahorro mano de obra	2899800	2992593,6	3088356,6	3188728,18	3292361,85
Bonos de carbono					
Total ingresos operacionales	3859800	3983313,6	4110779,64	4244379,97	4382322,32

FLUJO DE CAJA

CONCEPTO	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
INGRESOS OPERACIONALES		3859800	3983313,6	4110779,64	4244379,97	4382322,32
COSTOS DE OPERACIÓN		60344000	62275008	64267808	66356512	68513099
COSTOS ADMINISTRATIVOS		13017200	13433750,4	13863630,4	14314198,4	14779409,8
DEPRECIACIÓN		4206000	4206000	4206000	4206000	4206000
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS		-73707400	-75931445	-78226659	-80632330	-83116186
IMPUESTO A LA RENTA						
UTILIDAD DESPUÉS DE IMPUESTOS		-73707400	-75931445	-78226659	-80632330	-83116186
DEPRECIACIÓN						
INVERSIONES	60560000					
FLUJO ANUAL DE FONDOS	-60560000	-73707400	-75931445	-78226659	-80632330	-83116186

Bibliografía

- Cheng, S., Li, Z., Mang, H., Huba, E., Gao, R., & Wang, X. (2014). Development and application of prefabricated biogas digesters in developing countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 387-400.
- Ciotola, R. J., Lansing, S., & Martin, J. (2011). Emergy analysis of biogas production and electricity generation from small-scale agricultural digesters. *Ecological Engineering*, 37(11), 1681-1691.
- CORTOLIMA. (1 de Noviembre de 2012). *CORTOLIMA PLAN DE ACCION 2012-2015*. Obtenido de <http://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/democracia/plan-accion-2012-2015-V-1..pdf>
- Garfí, M., Ferrer-Martí, L., Velo, E., & Ferrer, I. (2012). Evaluating benefits of low-cost household digesters for rural Andean communities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 575-581.
- Gobernación del Tolima. (1 de Agosto de 2010). *Tolima en cifras*. Obtenido de <http://www.tolima.gov.co/municipios/>
- Gonzalez-Salazar, M. A., Morini, M., Pinelli, M., Spina, P., Venturini, M., Finkenrath, M., & Poganietz, W. (2014). Methodology for estimating biomass energy potential and its application to Colombia. *Applied Energy*, 136, 781-796.
- Surendra, K., Takara, D., Hashimoto, A., & Khanal, S. (2014). Biogas as a sustainable energy source for developing countries: Opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 846-859.
- UPME. (12 de Septiembre de 2012). *Energías Renovables: Descripción, Tecnologías y Usos Finales*. Obtenido de <http://www.corpoema.com/Informacion%20FNCE/Eolico/Cartilla%20ER%20col.pdf>