

Estimation of the energy potential of biomass in the Piura region available for anaerobic digestion processes

Rafael Saavedra, Dr.¹, Daniel Marcelo, Dr.¹, Marcoantonio Alamo, MSc.¹, y Winston Arrieta, Ing.¹

¹Universidad de Piura, Perú,

rafael.saavedra@udep.pe, daniel.marcelo@udep.pe, markalamo007@gmail.com, winstonap91@gmail.com

Abstract— Herein, we consider the potential of biomass that can generate activities associated with agriculture and livestock, except for the forestry potential, since Piura does not present a significant production in this sector. The most recent data provided by the National Institute of Statistics and Informatics and the Integrated System of Agricultural Statistics of the Ministry of Agriculture and Irrigation have been used. This allowed us to identify the areas with the highest biomass production (suitable for anaerobic digestion processes) in the department of Piura and estimate their energy potential under the conditions specified herein. This resulted in ~6800 m³ CH₄/day or 248.2 GJ/day, which was able to become ~16.5 MWh per day of energy.

Keywords— Potential energy, biomass, anaerobic digestion.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2017.1.1.145>

ISBN: 978-0-9993443-0-9

ISSN: 2414-6390

Estimación del Potencial Energético de Biomasa en la Región Piura Disponible para Procesos de Digestión Anaerobia

Rafael Saavedra, Dr.¹, Daniel Marcelo, Dr.¹, Marcoantonio Alamo, MSc.¹, y Winston Arrieta, Ing.¹

¹Universidad de Piura, Perú,

rafael.saavedra@udep.pe,daniel.marcelo@udep.pe,markalamo007@gmail.com,winstonap91@gmail.com

Resumen - En el presente artículo se considera el potencial de biomasa que pueden generar actividades como la agricultura y ganadería, exceptuando el potencial forestal ya que Piura no presenta una significativa producción en este sector.

Se han utilizado los datos más recientes proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática y por el Sistema Integrado de Estadísticas Agrarias del Ministerio de Agricultura y Riego. Esto permitió identificar las áreas con mayor producción de biomasa (apta para procesos de digestión anaerobia) del departamento de Piura y realizar un cálculo de su potencial energético, que en las condiciones que se especifican en esta investigación, resultan en alrededor de 6800 m³ CH₄/día o 248.2 GJ/día, pudiendo convertirse en unos 16.5 MWh al día de energía eléctrica.

Palabras clave – Potencial, biomasa, digestión anaerobia, energía.

I. INTRODUCCIÓN

La Ley de promoción del mercado de biocombustibles (Ley N° 28054) del año 2003, inició el cambio de la matriz energética peruana con la introducción de las energías renovables. Sumado a ello, el inicio del proyecto Camisea en el año 2004 ha permitido que el gas natural vaya sustituyendo a otros combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y sus derivados, en campos como: la generación termoeléctrica, el sector industrial, el sector transporte y el residencial. En el caso de los biocombustibles, los que mayor interés han despertado son el bioetanol y el biodiesel, los cuales se producen con procesos convencionales de primera generación [1]. Es por esto que el rol del sector agrario peruano en la generación de energía se ha incrementado, debido a la utilización de nuevas tierras de cultivo para la producción de biodiesel y bioetanol, lo que ha brindado nuevas oportunidades de negocios; pero a su vez ha generado controversia debido a los posibles riesgos en la seguridad alimentaria y las posibles mayores emisiones de gases de efecto invernadero [2].

El panorama del bioetanol y biodiesel en el Perú ha tenido cambios importantes en los últimos años. Para el caso del biodiesel, siendo el biocombustible más consumido en el sector transporte nacional con un consumo muy superior a su producción, en el año 2016 las importaciones procedentes de Argentina han logrado abarcar el 100% del mercado local [3], [4]. En el caso del bioetanol, hace algunos años la producción nacional, casi en su totalidad en el departamento de Piura, era

bastante superior a su consumo. Sin embargo, para el año 2016 se ha estimado una producción de 160 millones de litros, lo que representa una reducción del 33% con respecto a lo estimado el año anterior, debido a que la planta de Maple, adquirida por el Grupo Gloria, ya no producirá etanol, sino que utilizará sus 6000 hectáreas de azúcar para el consumo humano e industrial, aunque conservará su capacidad para producir dicho biocombustible [4].

En el caso del bioetanol, las condiciones climáticas favorables del Perú, en especial las del departamento de Piura por su mayor número de horas de luz solar al día, debido a su proximidad al Ecuador, y por las tecnologías modernas de irrigación aplicadas, han permitido obtener los más altos rendimientos de caña de azúcar (toneladas/hectárea) del mundo, siendo los rendimientos promedio de 160 t/ha, además de poderse cultivar durante todo el año; mientras que otros competidores como Brasil, sólo pueden cosecharla durante 180 días al año y con rendimientos de 70 t/ha [4], [5].

Pese a las condiciones favorables mencionadas anteriormente, la disponibilidad del recurso hídrico es un problema de primera instancia que afecta a la producción de la agroenergía en la costa peruana [6], y el departamento de Piura no es la excepción. Ya en el año 2007, pocos meses de otorgados en venta 15000 hectáreas para la siembra de caña de azúcar para la producción de etanol (Maple y Grupo Romero), el MINAG por resolución ministerial declaró agotados los recursos hídricos de la cuenca del río Chira, con lo que se evitaba el otorgamiento de nuevas licencias para el uso del agua, salvo aquellas en las que existan reservas probadas de agua [7]. Sin embargo, proyectos como el de irrigación del alto Piura contribuirán a solucionar parte de dicho problema.

Además de los combustibles de primera generación, en nuestro país se debe considerar la importante cantidad de los residuos de la agro-industria. En el caso de Piura, de residuos de cultivos como el arroz, maíz y café, y de la naciente industria azucarera. De acuerdo con la investigación de Orrego Moya y Zulantay Alfaro, para el 2012 se estimó que, con el desarrollo de la agricultura en la costa peruana, los residuos agrícolas de cinco cultivos (caña de azúcar, maíz amarillo duro, algodón, arroz y sorgo dulce) se pudo aportar un valor energético equivalente a 106800 TJ. Si sólo se considera el potencial de la biomasa de la producción de caña de azúcar, se tendría un potencial de generación eléctrica entre 1059 GWh y 2300 GWh [2].

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2017.1.1.145>
ISBN: 978-0-9993443-0-9
ISSN: 2414-6390

15th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Global Partnerships for Development and Engineering Education”, 19-21 July 2017, Boca Raton FL, United States.

II. POTENCIAL DE BIOMASA

A. Departamento de Piura

El departamento de Piura es un espacio variado en el que confluyen diversos escenarios como el mar de Grau, donde se cruzan la corriente fría de Humbolt y la corriente cálida de El niño; el desierto de Sechura, el más grande del país; un territorio llano extenso irrigado por los ríos Chira y Piura, los cuales discurren desde la zona andina del departamento, en las provincias de Ayabaca y Huancabamba. El departamento cuenta con una superficie territorial total de 35892.5 km² (2.8% del territorio nacional), de los cuales 1.3 km² son insulares, ubicándose en el puesto 13 a nivel nacional de los departamentos con mayor extensión territorial [8].

Las principales actividades en el departamento de Piura son la agricultura, ganadería, pesca, minería y actividades forestales. El potencial de biomasa del departamento de Piura y la producción de energía a partir de ésta (bioenergía) será proporcional a su producción agropecuaria. Se deben considerar tanto los cultivos que permitan la producción de biocombustibles de primera generación (caña de azúcar, maíz, etc.), como aquellos desechos de las actividades agropecuarias (restos de cosechas, estiércol de animales, etc.) transformables en biocombustibles de segunda generación.

A.1. Recursos agropecuarios en Piura

A.1.1. Agricultura

Según el Censo Nacional Agropecuario (CENAGRO) del 2012, el departamento de Piura cuenta con una superficie agrícola de 1895878 hectáreas, representando el 4.9% a nivel nacional y ubicándose en el puesto 9 de los departamentos con mayores extensiones agrícolas (ver Tabla I). Esta superficie agrícola representa el 52.8% del territorio del departamento, existiendo la posibilidad de aumentarla con nuevos sistemas de irrigación. Así, por ejemplo, con Proyecto Especial de Irrigación e Hidroenergético del Alto Piura (PEIHAP) se espera agregar 19000 nuevas hectáreas de terreno al sector agrícola, sólo en en la provincia de Morropón.

El departamento de Piura tiene un rol protagónico en los principales productos bandera de la agro exportación, a excepción de los espárragos y el café: es el mayor productor de mango a nivel nacional, alcanzando las 258000 toneladas el 2015 (75% nacional); y el mayor productor de limón con 149000 toneladas (56% de la producción nacional). Además, es el cuarto mayor productor de banano y plátano con 263800 toneladas el 2015 (12% nacional) y el segundo mayor productor de uva, después de Ica, con 182600 toneladas (31% nacional). Con respecto al cacao, si bien el departamento de Piura se ubicó en el puesto 11 en el año 2015, se debe resaltar que este cultivo y el chocolate producido en el departamento son reconocidos entre los mejores del mundo.

1) *Potencial de la biomasa proveniente de la agricultura:* Según los datos de producción y rendimientos anuales de los años 2015 y 2012 para el departamento de Piura, y con los datos de la producción total de residuos estimados para el Perú, según

el Módulo de Recursos Naturales de la FAO (2014), se ha estimado el potencial de biomasa con los residuos obtenidos de las cosechas de los principales cultivos del departamento: arroz, maíz, café, cacao, soya y sorgo. La Tabla III se elaboró utilizando como datos de entrada los mostrados en la tabla II. Siendo conservadores, se asumió sólo una cosecha por año (a excepción del cacao que puede producir todo el año) debido a las restricciones de agua, y una disponibilidad de los residuos menor o igual al 50% (aunque realmente la mayor parte de éstos son aprovechables).

TABLA I
SUPERFICIE AGRÍCOLA DEL PERÚ, SEGÚN DEPARTAMENTO (HECTÁREAS)

Departamento	Año 2012	
Total	38 742 465	
Amazonas	1,766,279	
Áncash	1,301,924	
Apurímac	1,573,792	
Arequipa	1,965,270	
Ayacucho	2,246,988	
Cajamarca	1,409,292	
Callao	801	
Cusco	2,666,567	
Huancavelica	1,485,297	
Huánuco	1,479,397	
Ica	599,503	
Junín	2,423,790	
La Libertad	1,057,201	
Lambayeque	691,070	
Lima	2,002,429	
Loreto	3,250,238	
Madre de Dios	661,344	
Moquegua	504,590	
Pasco	1,002,760	
Piura	Superficie agrícola	1,895,878
	Porcentaje nacional	4.89%
	Puesto a nivel nacional	9
Puno	4,464,474	
San Martín	1,323,017	
Tacna	625,807	
Tumbes	22,848	
Ucayali	2,321,909	

Fuente: IV Censo Nacional Agropecuario (CENAGRO), INEI (2012)

En base a la cantidad total de residuos mostrados en las tablas III y IV, se ha elaborado la Figura 1 para una mejor visualización del potencial de biomasa de tales residuos agrícolas. Por lo tanto, se estima, utilizando valores conservativos, que Piura tiene un potencial de biomasa sólida de más de 70000 toneladas al año, utilizando los residuos de las

cosechas de sólo seis cultivos diferentes. A esto deberá sumársele el potencial de las miles de hectáreas de la futura industria azucarera. Estos residuos pueden ser quemados directamente para la producir energía, ser sometidos a procesos mecánicos y térmicos para obtener biocombustibles sólidos, como el carbón vegetal, las briquetas o pellets, o ser sometidos a gasificación para obtener combustible gaseoso (FAO, 2014).

TABLA II
RENDIMIENTO PROMEDIO Y PRODUCCIÓN ANUAL DE LOS CULTIVOS CON POTENCIAL DE BIOMASA EN EL DEPARTAMENTO DE PIURA

Cultivo	Arroz	Maíz	Café	Cacao	Soya	Sorgo
Rendimiento (t/ha)	8.7	3.9	0.3	0.6	1.8	10
N° cosechas por año	1	1	1	3	1	1
Producción anual (t)	503200	65000	2700	700	600	400
Área de producción total estimada (ha)	57839.1	16666.7	9000	388.9	333.3	40

Fuente: Elaboración propia en base a datos del MINAGRI (2015) e INEI (2012)

TABLA III
ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL BIOMÁSICO DE LOS RESIDUOS PRODUCIDOS DE LA COSECHA DE ARROZ Y MAÍZ EN EL DEPARTAMENTO DE PIURA

Cultivo	Arroz		Maíz			
	Cascarilla	Paja	Mazorca	Cáscara	Rastrojo*	
Relación residuo/rastrojo (t/t)	0.25	1.33	0.33	0.22	1	
Generación de residuos	Producción total (t/año)	125800.0	671352.7	21499.0	14408.3	65000
	Rendimiento del residuo (t/ha)	2.18	11.61	1.29	0.86	3.9
Residuos dejados en el campo (25%) (t/año)	31450.0	167838.2	5374.7	3602.1	16250	
Residuos quemados en el campo (10%) (t/año)	12580.0	67135.3	2149.9	1440.8	6500	
Uso de los residuos (50%) (t/año)	Alimentación y lecho	18870 (15%)	469946.9 (70%)	-	7204.2 (50%)	45500 (70%)
	Combustible (incluye carbón)	6290 (5%)	33567.6 (5%)	6449.7 (30%)	1440.8 (10%)	6500 (10%)
	Construcción	62900 (50%)	33567.6 (5%)	-	-	-
	Industria	-	-	-	-	-
Total de residuos utilizados (t/año)	88060	537082.2	6449.7	8645.0	52000	
Potencialmente disponible para bioenergía	Área de producción (ha)	57839	57839	16667	16667	16667
	Rendimiento de residuos (t/ha)	0.33	0.58	0.71	0.22	0.20
	Total (t/año)	18870	33568	11824	3602	3250

* Se asumió una relación residuo/cultivo de 1 para el rastrojo de maíz (similar al del arroz).

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la FAO (2014)

TABLA IV

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL BIOMÁSICO DE LOS RESIDUOS PRODUCIDOS DE LA COSECHA DE ALGUNOS CULTIVOS, EN EL DEPARTAMENTO DE PIURA

Cultivo	Café	Cacao	Soya	Sorgo	
Tipo de residuo	Cascarilla	Vainas	Rastrojo	Paja/tallos	
Relación residuo/rastrojo (t/t)	1.32	1.5	1.53	2.44	
Generación de residuos	Producción total (t/año)	3561.7	1050.0	918.0	976.0
	Rendimiento del residuo (t/ha)	0.4	2.7	2.8	24.4
Residuos dejados en el campo** (25%) (t/año)	890.4	262.5	229.5	244.0	
Residuos quemados en el campo (10%) (t/año)	356.17	105.0	91.8	97.6	
Total de residuos utilizados*** (50%) (t/año)	1780.8	525.0	459.0	488.0	
Potencialmente disponible para bioenergía	Área de producción (ha)	9000	389	333	40
	Rendimiento de residuos (t/ha)	0.14	0.95	0.96	8.54
	Total (t/año)	1247	368	321	342

** Residuos quemados como parte de los preparativos para el siguiente ciclo de producción.

*** Usos estimados.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la FAO (2014)

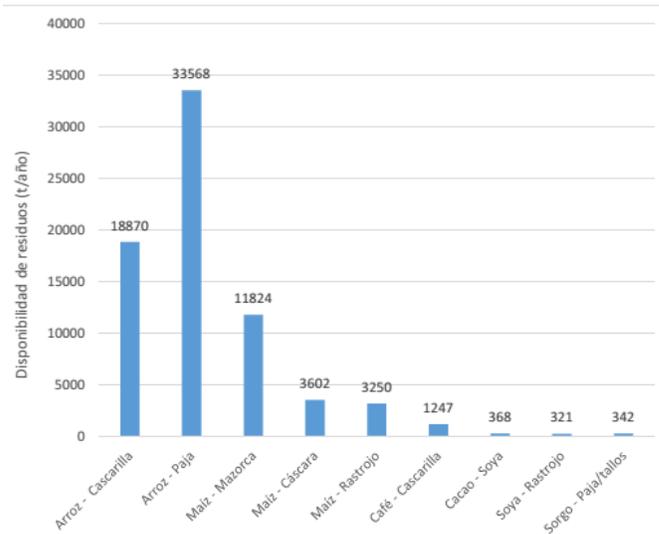


Fig. 1 Residuos agrícolas disponibles para bioenergía en el departamento de Piura.

Fuente: Elaboración propia.

Además del potencial de los residuos considerados anteriormente, Santa – María y co-autores (2013) considera que existe potencial para la producción de etanol a partir de residuos lignocelulósicos un poco desconocidos como los producidos de la cosecha del banano (musa acuminata) [9]. Considerando que el departamento de Piura es uno de los principales productores de plátano y banano del Perú, llevaron a cabo experimentos en laboratorio para determinar el volumen de etanol que se

obtendría de la fermentación de los tallos (stems), hojas (leaves) y raquis (rachis). Estos autores concluyeron que existe un potencial para producir 4.8 millones de litros de etanol, a partir de los residuos de las cosechas de banano del valle del Chira, provincia de Sullana. En la Tabla V se presentan los resultados obtenidos por estos autores. Otro de los cultivos un poco desconocidos y con potencial de producir bioetanol mediante fermentación (según estudios realizados en los últimos años) es el sorgo, del cual Piura tiene el mejor rendimiento a nivel nacional.

TABLA V
RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS DE BANANA DISPONIBLES Y SU POTENCIAL PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL

Residuos de banano disponibles (1000 t/año)			Potencial de producción de etanol (millones de litros/año)			Relación etanol/biomasa (g/g)		
Tallos	Hojas	Raquis	Tallos	Hojas	Raquis	Tallos	Hojas	Raquis
15	13	0.81	4.6	1.2	0.16	0.24	0.07	0.15

Fuente: Santa María y co-autores [9].

2) *Proyecto de irrigación del Alto Piura*: El Proyecto Especial de Irrigación e Hidroenergético del Alto Piura (PEIHAP), con el cual se trasvasarán parte de las aguas del río Huancabamba a la cuenca del río Piura, permitirá ampliar la frontera agrícola (19000 ha nuevas) y mejorar los sistemas de riego de las tierras agrícolas existentes en los valles del alto Piura (31000 ha), además de la generación eléctrica. Con esto se incrementará el potencial de biomasa de residuos de cultivo del departamento de Piura.

De acuerdo con COLPEX Project S.A. (1998) las tierras que tienen aptitud para el riego y pueden ser incorporadas al PEIHAP se ubican en la provincia de Morropón, en los distritos de La Matanza, Buenos Aires, Salitral y Chulucanas; la gran mayoría (más del 80%) ubicadas en la margen izquierda del río Piura (ver Figura 2 como referencia). Los cultivos con potencial de ser cosechados en estas zonas incluyen: cultivos permanentes como el mango, vid, espárrago, limón, etc. y cultivos transitorios como el maíz, sorgo, soya, tomate, sandía, melón, hortalizas, entre otros; no considerándose el arroz ni el plátano por su alto consumo de agua, que no va acorde con su rentabilidad [10].

A.1.2. Ganadería y aves de corral

Si bien la ganadería es una actividad complementaria a la agricultura, según datos del IV Censo Nacional Agropecuario (CENAGRO) del año 2012, de los 2260 973 de unidades agropecuarias que existen en nuestro país, 47467 (2.1%) son unidades agropecuarias que no poseen tierras y sólo conducen especies pecuarias [11].

En el caso del departamento de Piura, éste cuenta 142850 unidades agropecuarias lo que equivale al 6.3% nacional, de las cuales 2869 (2%) no poseen tierras y sólo se dedican a la crianza de animales [11]. La mayoría de dichas unidades agropecuarias

se dedican a la crianza de ganado porcino, vacuno y ovino, en ese orden.

Según dicho censo nacional, el año 2012 Piura contaba con 208181 cabezas de ganado vacuno, lo cual representa el 4% nacional y lo coloca en el puesto N° 12 a nivel nacional, siendo superado por departamentos con La Libertad (4.2%) y San Martín (4.4%). Los departamentos de la sierra como Cajamarca, Puno, Ayacucho y Cusco, son los que lideran en número de cabezas de ganado con el 14.1%, 12.0%, 8.0% y 7.9%, respectivamente. Sucede algo similar con los ovinos.

Con respecto al ganado porcino, el departamento de Piura está mejor posicionado a nivel nacional, ya que con sus 137860 cabezas representa el 6.2% nacional, ubicándose en el puesto 5 a nivel nacional. Además, se debe destacar también que el departamento de Piura cuenta con el mayor número de caprinos a nivel nacional, superando ampliamente a los demás departamentos. Los 260221 caprinos en el departamento, representan el 25% nacional, mientras que sus “inmediatos” seguidores son Ayacucho, Áncash y Lima, con 9.6%, 9.1% y 8.5% para Ayacucho, Ancash y Lima, respectivamente.

En lo que respecta a las aves de corral con crianza en granja (no se considera la crianza familiar), el departamento de Piura con una población de 1964814 sólo posee el 1.85 % nacional. Sin embargo, con este porcentaje se ubica en el sexto lugar a nivel nacional; aunque está bastante lejos de los departamentos que le anteceden como Lima (61547123 aves), La Libertad (19829583 aves) y Arequipa (8461338 aves). En el departamento de Piura también existen camélidos (llamas y alpacas), pero éstos representan un porcentaje muy reducido a nivel nacional. Por ejemplo, en número de alpacas el departamento de Piura (98 cabezas el año 2012) sólo superaba a las del departamento de Ica.

1) *Ganado vacuno*: En el año 2012 se registraron 5156044 cabezas de ganado vacuno (incluyendo bueyes) a nivel nacional, de las cuales 208181 pertenecen al departamento de Piura, lo que representa el 4.04% nacional. Esto ubica a dicho departamento en el puesto número 12 a nivel nacional, siendo ligeramente superado por los departamentos de La Libertad (4.17%), San Martín (4.44%) y Arequipa (4.56%); y ampliamente superado por los departamentos de Cajamarca (14.05%), Puno (11.97%) y Puno (8.03%), los cuales ocupan los primeros lugares en número de cabezas de ganado vacuno. En la Tabla VI se presenta el ganado según categoría y en la tabla VII según provincias.

Tal como se muestra en la Tabla VII, las provincias de la sierra (Ayabaca, Huancabamba y Morropón) cuentan con el 80% del total de ganado vacuno del departamento de Piura. En la Tabla VIII se muestran los 12 distritos con mayor población de ganado vacuno del departamento de Piura. La mayoría de éstos son de las provincias de Ayabaca y Huancabamba, a excepción del distrito de Tambo Grandre, ubicado en la provincia de Piura.

RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS DE BANANA DISPONIBLES Y SU POTENCIAL PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL

TABLA VI

CATEGORÍAS DE GANADO VACUNO	UNIDADES AGROPECUARIAS CON GANADO VACUNO	POBLACIÓN DE GANADO VACUNO POR RAZAS					POBLACIÓN DE GANADO VACUNO CRIOLLO	TOTAL DE CABEZAS
		HOLSTEIN	BROWN SWISS	GYR/CEBU	OTRAS	TOTAL RAZAS		
Terneros y terneras	25147	4695	4959	4595	1209	15458	35990	51448
Vaquillas	7803	1505	1628	2127	439	5699	10891	16590
Vaquillonas	8070	1520	1682	3272	379	6853	11266	18119
Vacas	36779	7994	7638	8496	2000	26128	61722	87850
Toretas	8277	1353	1549	1776	397	5075	9728	14803
Toros	10920	2197	1577	1699	832	6305	12460	18765
Bueyes	292	-	-	-	-	-	-	606
DEPARTAMENTO DE PIURA	46086	19264	19033	21965	5256	65518	142057	208181

Fuente: IV Censo Nacional Agropecuario [11]

POBLACIÓN DE GANADO VACUNO SEGÚN RAZA EN CADA PROVINCIA DEL DEPARTAMENTO DE PIURA

TABLA VII

PROVINCIA	UNIDADES AGROPECUARIAS CON GANADO VACUNO	POBLACIÓN DE GANADO VACUNO POR RAZAS					POBLACIÓN DE GANADO VACUNO CRIOLLO	TOTAL DE CABEZAS
		HOLSTEIN	BROWN SWISS	GYR/CEBU	OTRAS	TOTAL RAZAS		
Provincia AYABACA	14157	4122	5154	5574	1265	16115	48128	64464
Provincia HUANCABAMBA	15462	8392	3307	791	1354	13844	43151	57222
Provincia MORROPON	7998	1716	4912	10402	945	17975	27690	45731
Provincia PIURA	5829	3520	3812	3481	1003	11816	13771	25633
Provincia SULLANA	1125	982	1508	1110	600	4200	5070	9306
Provincia SECHURA	878	334	205	321	75	935	2084	3026
Provincia PAITA	610	187	135	250	14	586	1833	2422
Provincia TALARA	27	11	-	36	-	47	330	377
DEPARTAMENTO DE PIURA	46086	19264	19033	21965	5256	65518	142057	208181

Fuente: IV Censo Nacional Agropecuario [11]

DISTRITOS CON EL MAYOR NÚMERO DE CABEZAS DE GANADO VACUNO EN EL DEPARTAMENTO DE PIURA

TABLA VIII

DISTRITO	PROVINCIA	UNIDADES AGROPECUARIAS CON GANADO VACUNO	POBLACIÓN DE GANADO VACUNO POR RAZAS					POBLACIÓN DE GANADO VACUNO CRIOLLO	TOTAL DE CABEZAS
			HOLSTEIN	BROWN SWISS	GYR/CEBU	OTRAS	TOTAL RAZAS		
AYABACA	Ayabaca	4372	1194	2242	2701	424	6561	14117	20753
PACAIPAMPA	Ayabaca	3346	1698	1165	1422	245	4530	9249	13826
HUARMACA	Huancabamba	4104	157	308	182	190	837	12148	13021
HUANCABAMBA	Huancabamba	3608	2903	504	43	325	3775	8917	12754
EL CARMEN DE LA FRONTERA	Huancabamba	2138	2855	608	102	264	3829	6587	10461
TAMBO GRANDE	Piura	1419	1736	2077	524	226	4563	3620	8198
LA MATANZA	Morropón	371	9	244	6325	12	6590	1020	7611
SUYO	Ayabaca	871	27	84	482	78	671	6320	7012
FRIAS	Ayabaca	1512	631	946	103	89	1769	4525	6326
CHULUCANAS	Morropón	1408	242	1694	890	204	3030	3209	6242
SANTO DOMINGO	Morropón	1416	434	1025	88	113	1660	4573	6235
SONDOR	Huancabamba	1330	1141	341	16	176	1674	4168	5862

Fuente: IV Censo Nacional Agropecuario [11]

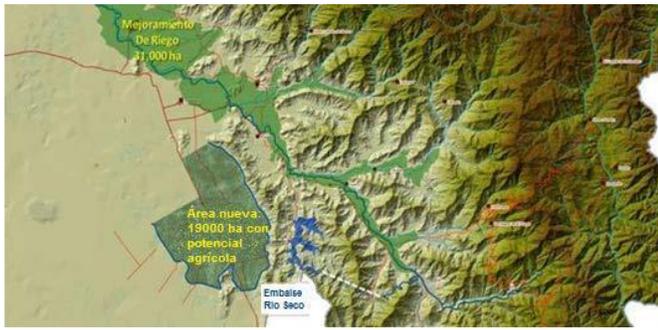


Fig. 2 Área de influencia del PEIHAP
Fuente: PEIHAP

2) *Ganado porcino*: En la Tabla IX se muestra la población de ganado porcino según su edad o categoría, para todo el departamento de Piura. En la Tabla X se muestra la población de ganado porcino por cada provincia del departamento de Piura. Como se puede notar, las provincias de la sierra (Ayabaca, Huancabamba y Morropón) junto a la provincia de Piura, son las que mayor población de ganado porcino tienen, representando casi el 90% de todo el departamento.

TABLA IX
POBLACIÓN DE GANADO PORCINO POR CATEGORÍAS, SEGÚN TAMAÑO DE LAS UNIDADES AGROPECUARIAS Y CATEGORÍAS

CATEGORÍAS	UNIDADES AGROPECUARIAS CON GANADO PORCINO	TOTAL DE CABEZAS	POBLACIÓN DE GANADO PORCINO	
			CRIOLOS	MEJORADOS
Lechones	22671	61354	53249	8105
Gorriñas	9101	15878	13612	2266
Marranas	17631	29096	25582	3514
Gorriños	7290	12982	10983	1999
Verracos	11758	18550	16519	2031
Departamento PIURA	48332	137860	119945	17915

Fuente: IV Censo Nacional Agropecuario [11]

TABLA X
POBLACIÓN DE GANADO PORCINO POR PROVINCIA DEL DEPARTAMENTO DE PIURA

CATEGORÍAS	UNIDADES AGROPECUARIAS CON GANADO PORCINO	TOTAL DE CABEZAS	POBLACIÓN DE GANADO PORCINO	
			CRIOLOS	MEJORADOS
Provincia PIURA	11772	34119	27163	6956
Provincia AYABACA	12492	41071	39034	2037
Provincia HUANCABAMB A	12877	24862	23484	1378
Provincia MORROPON	6416	19731	16861	2870
Provincia PAITA	733	2835	2437	398
Provincia SECHURA	1,687	4,570	3,358	1,212
Provincia SULLANA	2295	10017	7421	2596
Provincia TALARA	60	655	187	468
Departamento PIURA	48332	137860	119945	17915

Fuente: IV Censo Nacional Agropecuario [11]

3) *Aves de corral*: En la Tabla XI se presenta la distribución por provincia del departamento de Piura de la población de aves de corral, con crianza en granja (no se consideraron aves con crianza familiar ya que éstas generalmente están dispersas en el campo, no pudiendo aprovecharse el potencial de su estiércol). A diferencia del ganado, la población de aves se ubica casi en su totalidad en la provincia de Piura y de Piura (99.4% del total del departamento).

TABLA XI
POBLACIÓN DE AVES DE CORRAL POR PROVINCIA DEL DEPARTAMENTO DE PIURA

PROVINCIA	UNIDADES AGROP. CON AVES DE CORRAL DE CRIANZA EN GRANJA	POBLACIÓN DE AVES DE CORRAL				
		POLLOS Y POLLAS DE ENGORDE	GALLINAS	GALLOS	PAVOS	PATOS
Provincia PIURA	358152	315246	31429	14	2563	8900
Provincia AYABACA	-	-	-	-	-	-
Provincia HUANCABAMBA	107	80	19	4	-	4
Provincia MORROPON	1060	1060	-	-	-	-
Provincia PAITA	1595395	1594975	120	70	50	180
Provincia SULLANA	3000	1000	2000	-	-	-
Provincia TALARA	-	-	-	-	-	-
Provincia SECHURA	7100	1670	4690	10	710	20
Departamento PIURA	1964814	1914031	38258	98	3323	9104

Fuente: IV Censo Nacional Agropecuario [11]

4) *Potencial energético del estiércol de ganado y de aves*: En las zonas rurales del Perú, el estiércol animal generalmente no es utilizado, dejándose al aire libre en el campo. En algunas comunidades (principalmente el estiércol de ganado vacuno) puede ser utilizado como abono o fertilizante orgánico de diversos cultivos, y/o como combustible sólido (bosta) para la cocción, luego de un proceso de secado. Cuando se aplica como fertilizante, ya sea directamente o en compostaje, se aprovecha su contenido en nitrógeno, fósforo y potasio, importantes para el crecimiento de los cultivos.

Otra aplicación que se le puede dar al estiércol animal es su valorización energética, mediante su digestión anaeróbica en biodigestores domésticos para la producción de biogás y de biol. Sin embargo, esta práctica no está difundida entre las comunidades debido su escaso conocimiento técnico y al desconocimiento de las ventajas que se pueden obtener de la digestión anaeróbica del estiércol. El biogás obtenido, por su alto contenido de metano (mayor al 60% en volumen) puede satisfacer la demanda energética diaria de la familia para la cocción e iluminación, mientras que el biol, residuo de la digestión anaeróbica, puede ser utilizado como fertilizante orgánico.

Para el caso del aprovechamiento energético del estiércol animal mediante su digestión anaeróbica, si se considera que cada animal puede aportar con cierta cantidad de estiércol al día según su etapa de desarrollo (ver Tabla XII), y si se considera que el rendimiento en biogás del estiércol mostrado en la Tabla XIII, se puede estimar el biogás que se puede obtener diariamente. No se considera el estiércol de cabra, por la naturaleza de éste (contiene un bajo contenido orgánico biodegradable).

TABLA XII
DEYECCIONES SEGÚN EL TIPO DE ANIMAL Y ETAPA DE DESARROLLO.

Tipo de animal	Categoría	Edad / Peso (meses / kg)	Deyecciones producidas (orina + heces) (kg/día)
Vacuno	Ternero	3-6 meses	7
	Vaca	> 24 meses	28
	Vaca lechera	> 24 meses	45
Porcino	Lechón	15 kg	1.04
	Cerda	125 kg	4.03
	Padrillo	160 kg	4.09
Aves	Ponedora	1.8 kg	0.10
	Parrillero	0.9 kg	0.06

Fuente: IV Producción Animal-Argentina [12]

TABLA XIII
RENDIMIENTO DE METANO DE LAS DEYECCIONES DE GANADO Y AVES DE CORRAL

Estiércol	Rendimiento de metano	
	m ³ CH ₄ /t materia fresca	MJ / t estiércol fresco
Estiércol de vaca	7-14	260-510
Estiércol de cerdo	17-22	620-800
Gallinaza (poultry droppings)	12	440

Fuente: *The Biogas Handbook* [13]

En la Tabla XIV se muestra la estimación del estiércol total obtenido por el ganado vacuno, así como el volumen de biogás que se obtendría para el rendimiento indicado. De igual forma para el estiércol de cerdo y de aves de corral (sólo gallinas) en las Tablas XV y XVI, respectivamente.

TABLA XIV
ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DIARIA TOTAL DE ESTIÉRCOL Y METANO DEL GANADO VACUNO

Categorías de vacuno	Total de cabezas	Estiércol por animal (kg/día)	Estiércol total (t/día)	Producción total de metano al día (m ³ CH ₄ /día) $\eta = 7 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / \text{t estiércol}$
Terneros y terneras	51448	7	360.14	25720.98
Vaquillas	16590	7	116.13	812.91
Vaquillonas	18119	7	126.83	887.81
Vacas	87850	28	2459.80	17218.6
Toretas	14803	7	1103.62	7725.34
Toros	18765	28	525.420	3677.94
Bueyes	606	7	4.242	29.69
Departamento PIURA	208181	-	4696.18	56073.27

Fuente: Elaboración propia

Considerando las Tablas XIV, XV y XVI, se estima una producción total de metano de 136638.68 m³ al día en el departamento de Piura. Si sólo se pudiera aprovechar la décima parte del total del estiércol calculado para los tres tipos de animales considerados (vacuno, porcinos y aves de corral), ya sea porque éstos se dejan en el campo (dificultad en su acopio para el caso del estiércol de vaca y cerdo, por no estar en granjas) o porque se emplean en otras actividades; y si, además, el rendimiento obtenido de gas metano es la mitad de lo estimado; el volumen de este combustible que se obtendría diariamente es aún muy significativo (alrededor de 6800 m³ CH₄/día o 248.2 GJ/día). Esto permitiría generar unos 16.5 MWh al día (asumiendo un consumo de una turbina de gas de 15000 kJ/kWh).

TABLA XV
ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DIARIA TOTAL DE ESTIÉRCOL Y METANO, A PARTIR DE GANADO PORCINO

Categoría de porcino	Total de cabezas	Estiércol por animal (kg/día)	Estiércol total al día (t/día)	Producción total de metano al día (m ³ CH ₄ /día) $\eta = 17 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / \text{t estiércol}$
Lechones	61354	15	920.31	15645.27
Gorrinas	15878	15	238.17	3572.55
Marranas	29096	15	436.44	6546.6
Gorrinos	12982	15	194.73	2920.95
Verracos	18550	160	2968	50456
Departamento PIURA	137860	-	4757.65	79141.37

Fuente: Elaboración propia

TABLA XVI
ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DIARIA TOTAL DE ESTIÉRCOL Y METANO, A PARTIR DE AVES DE CORRAL (GALLINAS)

Categoría de ave	Total de cabezas	Estiércol por animal (kg/día)	Estiércol total al día (t/día)	Producción total de metano al día (m ³ CH ₄ /día) $\eta = 12 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / \text{t estiércol}$
Pollos y pollas de engorde	1914031	0.06	114.84	1378.08
Gallinas	38258	0.1	3.83	45.96
Departamento PIURA	1952289	-	118.67	1424.04

Fuente: Elaboración propia

III. CONCLUSIONES

Piura tiene un potencial indudable para la generación de bioenergía debido a que es una región con condiciones favorables para la agricultura, lo que le permite también ser un importante productor ganadero. Sin embargo, este potencial sería mayor si desde el gobierno central y/o regional se hubieran impulsado con anterioridad, por ejemplo, sistemas modernos de riego, que permitan tener una mayor frontera agrícola y mejor productividad de los terrenos de cultivo existentes (más t/ha y más cosechas por año); además de promover la organización de los pequeños y medianos productores agropecuarios para poder ser más competitivos.

Ejemplo de esto es el Proyecto de Irrigación del Alto Piura, el cual ya tenía estudios de factibilidad concluidos hace casi 20 años, pero que recién el presente año 2016 se ha adjudicado el contrato para la ejecución de las obras del primer componente del proyecto.

El potencial de biomasa del departamento de Piura es diferente para la costa y sierra. Mientras que en la sierra se encuentra el mayor potencial para el aprovechamiento del estiércol de ganado (principalmente vacuno), en las zonas costeras existe un mayor potencial para el aprovechamiento de los residuos de cultivos, debido a la mayor producción agrícola (disponibilidad hídrica) en los valles del río Chira, río Piura y de San Lorenzo; y a la aplicación técnicas de riego adecuadas, las cuales han sido introducidas por la industria azucarera y del bioetanol. Se espera que estas industrias y las nuevas que aparezcan continúen apoyando a los pequeños productores independientes, mediante su abastecimiento de materia prima (como la caña de azúcar) producida en los terrenos de estos agricultores. El Estado deberá ser garante de esto, además de incentivar y financiar la bio-conversión de la elevada cantidad de residuos orgánicos provenientes de las actividades agropecuarias, sobre todo de aquellos cultivos en los que Piura tiene el mejor rendimiento a nivel nacional como el sorgo, mango, banano y plátano, entre otros; como estrategias de desarrollo de las comunidades locales. De hecho, es importante recalcar la participación de organismos nacionales que tienen por finalidad normar, dirigir, orientar, fomentar, coordinar, supervisar y evaluar las acciones del Estado en el ámbito de la ciencia y promover e impulsar su desarrollo. El Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) es la institución que viene fomentando eficientemente la investigación y progreso de la ciencia en el Perú, gestionando los recursos necesarios para este objetivo mediante convocatorias para adjudicación de proyectos en varios campos de investigación con impacto positivo en la sociedad.

Finalmente, en términos del potencial energético de la biomasa obtenida en la Región Piura se estima una producción total de metano de 136638.68 m³ al día. Si sólo se pudiera aprovechar la décima parte del total del estiércol calculado para los tres tipos de animales considerados (vacuno, porcinos y aves de corral); y si, además, el rendimiento obtenido de gas metano es la mitad de lo estimado; el volumen de este combustible que se obtendría diariamente sería alrededor de 6800 m³ CH₄/día o 248.2 GJ/día, un valor aún muy significativo pues permitiría generar unos 16.5 MWh al día.

AUTORIZACIONES Y RECONOCIMIENTOS

Los investigadores manifiestan su agradecimiento a Fondecyt – Concytec por el financiamiento del proyecto N° 131-2015- FONDECYT, “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS PARA LA VALIDACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA

BIOMASA EN APLICACIONES DOMÉSTICAS EN ZONAS RURALES DE LA REGIÓN PIURA A PARTIR DEL TRATAMIENTO DE SUS RESIDUOS ORGÁNICOS” y a la UNIVERSIDAD DE PIURA por el especial apoyo brindado.

REFERENCIAS

- [1] H. García Bustamante, Matriz energética en el Perú y energías renovables. VIII. Barreras para el desarrollo de la bioenergía, Lima: Fundación Friedrich Ebert (FES) y Derecho, Ambiente y Recursos Naturales (DAR), 2013.
- [2] R. Orrego Moya y M. Zulantay Alfaro, Estado del arte y novedades de la bioenergía en Perú, Santiago: Organización de las naciones unidas para la alimentación y agricultura (FAO), 2013.
- [3] Diario Gestión, "Indecopi aplicó medidas compensatorias a importación de biodiesel argentino", 2016. Disponible en línea: <http://gestion.pe/economia/indecopi-aplico-medidas-compensatorias-importacion->.
- [4] USDA *Foreign Agricultural Service*, "Peru, Biofuels Annual", Lima, 2015.
- [5] USDA *Foreign Agricultural Service*, "Peru, Biofuels Annual", Lima, 2013.
- [6] Dirección General de Competitividad Agraria, "Plan Nacional de Agroenergía 2008 - 2020", Ministerio de Agricultura, Lima, 2009.
- [7] P. Castro Pareja, S. Sevilla Sevilla y J. Coello Guevara, "Estudio sobre la situación de los biocombustibles en el Perú", Soluciones Prácticas ITDG, Lima, 2008.
- [8] INEI, "Anuario de Estadísticas Ambientales", 2015.
- [9] M. Santa María, A. Ruiz Colorado, G. Cruz y T. Joe, "Evaluación de la factibilidad de la producción de biocombustibles a partir de residuos de banano lignocelulósico en comunidades agrícolas rurales de Perú y Colombia", *Bioenergy Research*, vol. 3, n° 6, 2013.
- [10] COLPEX Project S.A., "Estudio técnico-económico del proyecto de irrigación e hidroenergético Alto Piura.", Lima., 1998.
- [11] CENAGRO, "IV Censo Nacional Agropecuario", INEI, 2012.
- [12] C. Rodríguez, "Sitio Argentino de Producción Animal", 2002. Disponible en línea: http://www.produccion-animal.com.ar/sustentabilidad/05-residuos_ganaderos.pdf.
- [13] A. Wellinger, J. Murphy y D. Baxter, "The Biogas Handbook", Frome, Somerset: Woodhead Publishing Limited, IEA, 2013.