UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA

AGRONÓMICA, ALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS

Departamento de Economía Agraria, Estadística y Gestión de
Empresas

**Sinergias entre agricultura y bioenergía como
estrategia de desarrollo desde los bordes en los
países de América Latina: caso de la frontera
entre Ecuador y Perú**

Tesis Doctoral

Cristhian Antonio Vega Quezada

Economista
Máster en Economía Agraria, Alimentaria
y de los Recursos Naturales

Madrid 2018

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA

AGRONÓMICA, ALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS

Departamento de Economía Agraria, Estadística y Gestión de
Empresas

**Sinergias entre agricultura y bioenergía como
estrategia de desarrollo desde los bordes en los
países de América Latina: caso de la frontera
entre Ecuador y Perú**

Tesis Doctoral

Cristhian Antonio Vega Quezada

Director

María Blanco Fonseca
Dr. Ingeniero Agrónomo

Madrid 2018

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

Tribunal nombrado por el Sr. Rector Magfco. de la Universidad Politécnica de Madrid, el
día de de 201...

Presidente:

Vocal:

Vocal:

Vocal:

Secretario:

Suplente:

Suplente:

Realizado el acto de defensa y lectura de la Tesis el día de de 201... en la
E.T.S.I./Facultad

Calificación

EL PRESIDENTE

LOS VOCALES

EL SECRETARIO

A mi complemento de vida Julia
y la extensión de nuestro amor en este mundo, Alexander

Agradecimientos

Luego de 5 años de haber iniciado este reto personal y profesional de estudiar una maestría y un programa doctoral en Madrid, he tenido la dicha de conocer y compartir con una gran cantidad de personas. Cada una, con mayor o menor intensidad, han permitido ir sorteando cada uno de los retos, responsabilidades y deberes que ha significado esta hermosa etapa de mi vida. A todos y cada uno de ustedes mi sincera gratitud.

Sin embargo, hay quienes marcaron un antes y después en cada uno de los momentos que tuve el honor y la dicha de compartir. Debo empezar por agradecer a todos quienes como docentes en la maestría de Economía Agraria pude conocer, dialogar y admirar por su profesionalismo, transparencia y coherencia entre lo que se dice y lo que se hace: Isabel Bardají, Alberto Garrido, Ana Iglesias, Eva Iglesias, Silverio Alarcón, José María Durán(+), Jesús Fernández y por supuesto a María Blanco, quien con su firmeza y claridad de ideas ha permitido plasmar mi esfuerzo académico durante el programa de maestría y ahora en el de doctorado, muchas gracias por esa paciencia, palabras elocuentes y ejemplo, hoy me deja la enseñanza de vida de ser autocrítico y construir una mejor versión personal-profesional de manera permanente.

No puedo dejar de nombrar a mis compañeros y amigos durante este proceso de formación, Hugo, Jhenny, Maritza, Pilar, Marina, Rhys, Javier y Luis, ese compartir diario y palabras de aliento me permitieron tomar fuerzas, continuar mi rumbo y cumplir los objetivos propuestos.

Por último, a mi familia y amigos en Ecuador quienes permitieron cristalizar gran parte del trabajo de esta tesis, de manera especial a Estefanía y Alexander mis compañeros de vida, por su apoyo incondicional y aliento en todo momento, infinitas GRACIAS...

Resumen

El estudio de las interacciones entre la agricultura y la bioenergía se ha desarrollado, en gran medida, como un conjunto de iniciativas innovadoras para mitigar múltiples problemas globales como el cambio climático y el incremento en la demanda de energía. Este desarrollo de las sinergias agricultura-bioenergía, como respuesta a estos problemas globales, ha determinado que el sector agrario en particular se enfrente a desafíos tan importantes como la competencia por el uso de suelo, el incremento en la demanda de alimentos y el aumento de los residuos urbanos-agrícolas. Los efectos e influencias de estos desafíos en el estado de bienestar del ser humano son de interés científico, político y público.

Como respuesta a estos desafíos, en la literatura científica actual se destaca el desarrollo de las mejoras tecnológicas en la producción de biocombustibles, así como el diseño de estrategias innovadoras para convertir los residuos en subproductos bajo conceptos como la economía circular. En este contexto existe evidencia empírica que aborda las relaciones entre agricultura y bioenergía, así como importantes innovaciones en el campo de la ingeniería de procesos, donde países desarrollados como China, Alemania, Japón y Reino Unido destacan en la promoción del desarrollo de la economía circular; sin embargo, en los países en desarrollo son escasos los estudios que vinculen las sinergias entre proyectos específicos de biocombustibles, así como el aprovechamiento de residuos urbanos-agrícolas y sus efectos en la condición de pobreza.

Ante tales señalamientos, el objetivo de esta investigación fue identificar el potencial de las sinergias agricultura-bioenergía basadas en la economía circular y estimar sus efectos en la condición de pobreza; todo esto a través de un estudio de caso aplicado en Ecuador y en la frontera Ecuador-Perú, donde se abordan los recientes avances biotecnológicos en la producción de biogás, biodiesel y el aprovechamiento de residuos urbanos-agrícolas. Además, se estiman los cambios en la condición de pobreza a través de un conjunto de herramientas cuantitativas y cualitativas.

Este estudio destaca el potencial de las sinergias agricultura-bioenergía en el marco de la economía circular como una estrategia de desarrollo territorial; más específicamente en el marco del desarrollo binacional en la frontera Ecuador-Perú. Al respecto, con un horizonte de análisis 2016-2028, los resultados muestran que estas sinergias pueden

reportar beneficios económicos aproximados entre \$2400 y \$1900 millones al sector privado, entre \$282 y \$216 millones al sector gubernamental y una relación costo beneficio público de entre 1.24 y 1.27; adicionalmente, presentan beneficios ambientales al reducir entre 22 y 18 millones de toneladas equivalentes de CO₂; y presentan beneficios sociales como la creación de 192000 puestos de trabajo que dinamizan los territorios con reducciones en la pobreza por ingresos entre el 4.5% y 11%, y en la extrema pobreza por ingresos entre el 7% y 9%, así como reducciones del 1.40% en la incidencia y del 1.08% en la intensidad de la pobreza multidimensional en Ecuador. Estos importantes resultados en los indicadores de sostenibilidad, junto con los cambios estadísticamente significativos en la reducción de la condición de pobreza, permiten concluir que las sinergias agricultura-bioenergía, consideradas como estrategias de desarrollo basadas en la economía circular, presentan un futuro prometedor.

Summary

The study of the interactions between agriculture and bioenergy has developed largely as a set of innovative initiatives to mitigate multiple global problems such as climate change and the increase in energy demand. This development of the agriculture-bioenergy synergies in response to these global problems has determined that the agricultural sector in particular is one of the most vulnerable to important challenges; such as competition for land use, increased demand for food and urban-agricultural waste. The effects and influences of these challenges on the welfare state of the human being are of scientific, political and public interest.

In response to these challenges, the current scientific literature highlights the development of technological improvements in the production of biofuels, as well as the design of innovative strategies to convert waste into by-products under concepts such as the circular economy. In this context, there is empirical evidence that addresses the relationships between agriculture and bioenergy, as well as important innovations in the field of process engineering, where developed countries such as China, Germany, Japan and the United Kingdom stand out in promoting the development of the circular economy ; However, in developing countries there are few studies that link: the synergies between specific biofuel projects, the use of urban-agricultural waste and its effects on the condition of poverty.

The objective of this research is to identify the potential of the synergies agriculture-bioenergy based on the circular economy and estimate its effects on the condition of poverty; all this through a case study applied in Ecuador and on the Ecuador-Peru border, where recent biotechnological advances in the production of biogas, biodiesel and the use of urban-agricultural waste are addressed. In addition, changes in the poverty condition are estimated through a set of quantitative and qualitative tools.

This study highlights the potential of agriculture-bioenergy synergies within the framework of the circular economy, as a territorial development strategy. The results show that the synergies agriculture-bioenergy as a binational development strategy in the Ecuador-Peru border with a horizon of analysis 2016-2028, presents approximate economic benefits between \$ 2,400 and \$ 1,900 million to the private sector, between \$ 282 and \$ 216 million to the sector government and a cost-benefit ratio between 1.24 and

1.27; present environmental benefits by reducing between 22 and 18 million tons of CO₂ equivalent; and present social benefits such as the creation of 192,000 jobs, which boost the territories with reductions in poverty by income between 4.5% and 11%, reductions in extreme poverty by income between 7% and 9%, as well as reductions of 1.40% in incidence and 1.08% in the intensity of multidimensional poverty in Ecuador. These important results in the sustainability indicators, as well as the statistically significant changes in the reduction of the poverty condition, allow us to conclude that the agriculture-bioenergy synergies as development strategies based on the circular economy present a promising future.

Contenido

Lista de Figuras.....	x
Lista de Tablas	xii
Lista de Abreviaciones	xiv
1. Introducción General	16
1.1. Contexto de la investigación.....	16
1.1.1. La bioenergía como una estrategia circular de desarrollo en Ecuador	16
1.1.2. Descripción del problema	17
1.2. Objetivos	19
1.3. Estructura de la Tesis.....	20
1.4. Marco de investigación, difusión de resultados y publicaciones.....	21
2. Antecedentes y propuesta teórica	25
2.1. Energía y Bioenergía	25
2.1.1. Biogás.....	27
2.1.2. Biodiesel.....	29
2.2. Bioenergía en países latinoamericanos	30
2.3. Los biocombustibles en Ecuador	32
2.3.1. Plan Nacional de Desarrollo	32
2.3.2. Cultivos de interés energético.....	34
2.4. Marco legal y demanda potencial de biodiesel en el Ecuador.....	36
2.4.1. Marco legal.....	36
2.4.2. Demanda potencial de biodiesel en Ecuador.....	37
2.5. Propuesta teórica	38
2.5.1. Estrategia para maximizar las sinergias entre agricultura y bioenergía en Ecuador	38
2.5.2. Tratamiento Agrícola.....	40
2.5.3. Tratamiento de la Basura	41
2.5.4. Producción de Algas	42
3. Metodología del Estudio.....	43
3.1. Marco metodológico.....	43
3.2. Área de Estudio	43
3.3. Metodología de análisis del potencial de sinergias agricultura-bioenergía	46
3.3.1. Las emisiones equiv. de CO ₂ y el tratamiento agrícola	48
3.3.2. Características, proporción estimada de residuos y tratamiento de residuos	48
3.3.3. Estimación de la cantidad de ton equiv. CO ₂ de los residuos sólidos.....	50

3.3.4.	Potencial de generación eléctrica y emisiones de CO ₂ como subproducto.....	54
3.3.5.	Conversión de estiércol en energía eléctrica	55
3.3.6.	Emisiones de CO ₂	56
3.3.7.	Alternativas de cultivos energéticos	57
3.3.8.	Biodiesel a partir de Palma Africana	61
3.4.	Metodología de análisis del sistema de agricultura circular incorporando el diseño experimental.....	62
3.4.1.	Muestreo, emisiones equivalentes de CO ₂ y conversión eléctrica del biogás.....	62
3.4.2.	Sistema experimental.....	63
3.4.3.	Análisis cromatográfico de CO ₂ y CH ₄	64
3.4.4.	Fotobiorreactores para la producción de biodiesel a partir de microalgas.....	64
3.4.5.	Extracción de lípidos y procesos de transesterificación	65
4.	Sinergias entre la agricultura y la bioenergía en los países latinoamericanos: Una estrategia de economía circular para la producción de bioenergía en Ecuador	67
4.1.	Introducción	67
4.2.	Una estrategia de economía circular para la producción de biodiesel en Ecuador	68
4.3.	Materiales y métodos.....	69
4.3.1.	Producción de biogás a partir de residuos y sus efectos sobre las emisiones de GEI procedentes de la agricultura.....	70
4.3.2.	Potencial de generación de energía a partir del biogás y emisiones de CO ₂ relacionadas.....	71
4.3.3.	Cultivos energéticos alternativos	72
4.3.4.	Potencial de alimentación animal de los co-productos de biodiesel.....	75
4.4.	Escenarios de simulación.....	76
4.5.	Resultados	76
4.5.1.	Producción de biogás a partir de residuos y sus efectos sobre las emisiones de GEI procedentes de la agricultura.....	76
4.5.2.	Potencial de generación de energía a partir del biogás y emisiones de CO ₂ relacionadas.....	77
4.5.3.	Cultivos energéticos alternativos	78
4.5.4.	Potencial de alimentación animal de los co-productos de biodiesel.....	81
4.6.	Discusión.....	82
4.6.1.	Sinergias vs producción de biodiesel.....	82
4.6.2.	Implicaciones de política	85
5.	El potencial de las estrategias circulares de agricultura-bioenergía en la erradicación de la pobreza en la frontera Ecuador-Perú	86
5.1.	Introducción	86

5.2.	Revisión de Literatura	87
5.2.1.	El estudio de la pobreza	87
5.2.2.	Estrategias basadas en EC	88
5.3.	La pobreza y las estrategias basadas en EC en Ecuador	89
5.3.1.	La pobreza en Ecuador	89
5.3.2.	Estrategias basadas en EC en Ecuador.....	90
5.4.	Descripción Teórica de la potencial interacción entre la economía circular y la pobreza 92	
5.4.1.	Interacciones entre pobreza y estrategias basadas en EC	94
5.5.	Metodología y Datos	95
5.5.1.	Pobreza Multidimensional	96
5.5.2.	Determinantes de la pobreza por ingresos	97
5.5.3.	Sinergias Agricultura-Bioenergía	99
5.5.4.	Datos	100
5.6.	Resultados	100
5.6.1.	Pobreza Multidimensional	100
5.6.2.	Pobreza por ingresos.....	104
5.6.3.	Sinergias Agricultura-Bioenergía	106
5.7.	Discusión.....	108
5.7.1.	Implicaciones Políticas	108
6.	El potencial de las sinergias agricultura-bioenergía como políticas de desarrollo binacional en la frontera Ecuador-Perú	111
6.1.	Un sistema circular sostenible en la ZIF Ecuador-Perú	111
6.2.	La producción de Biogás	111
6.2.1.	Caracterización de los MSW y emisiones equivalentes de CO ₂	115
6.2.2.	Sistema experimental.....	116
6.2.3.	Evaluación del proceso de digestión anaeróbica en la primera etapa.....	117
6.2.4.	Evaluación del proceso de digestión anaeróbica en la segunda etapa	118
6.2.5.	Potencial de generación eléctrica en la ZIF Ecuador-Perú	119
6.3.	Biodiesel a partir de microalgas.....	121
6.3.1.	PBR Laminar: Retos y Oportunidades.....	122
6.4.	Economía Circular y erradicación de la pobreza en la frontera Ecuador-Perú	124
6.4.1.	Beneficios económicos	125
6.4.2.	Beneficios sociales	129
6.4.3.	Análisis multicriterio	131
7.	Discusión General.....	136

7.1.	Las implicaciones de política.....	136
7.2.	La Economía Circular y la erradicación de la pobreza	136
7.3.	Las iniciativas circulares como una estrategia de desarrollo binacional	138
8.	Conclusiones	141
	Descubrimientos importantes	143
	Contribución a la investigación	144
	Limitaciones y recomendaciones para futuras investigaciones.....	145
	Referencias.....	148
	Anexos 158	
	ANEXO A: Tablas – Pobreza Multidimensional y Datos de Corte Transversal	158
	ANEXO B: Tablas – Pobreza Multidimensional y Datos de Panel	169
	ANEXO C: Tablas – Pobreza por Ingresos y Modelos Logit	178
	ANEXO D: Encuesta – Análisis Multicriterio de Actores ZIF Ecuador-Perú	183

Lista de Figuras

Figura 1. Enlaces entre los métodos de investigación y la estructura de la Tesis	21
Figura 2. Regiones productoras de energía primaria mundial en los años 1973 y 2010	25
Figura 3. Escenarios de suministro de energía primaria en el mundo para 2035	27
Figura 4. Energías renovables y de residuos en 2009	28
Figura 5. Tendencias de los márgenes de potencia de mercado y biodiesel.....	30
Figura 6. Producción de energía a partir de energías renovables entre 1973 y 2014	31
Figura 7. Energías renovables, abastecimiento primario y consumo final en países Latinoamericanos	32
Figura 8. Demanda potencial de biodiesel y superficie disponible para cultivos energéticos	35
Figura 9. Consumo de combustible, precio del diésel y precio mundial del biodiesel	38
Figura 10. Propuesta para la maximización de las sinergias entre Agricultura y Bioenergía	39
Figura 11. Localización geográfica de Ecuador y la ciudad de Machala	44
Figura 12. Zona de Integración Fronteriza Ecuador-Perú (ZIF)	45
Figura 13. Unidades de animales (1000Kg-peso) existentes al 2011 y proyectadas al 2025 en el Ecuador	51
Figura 14. Plano y distribución de zonas en la ciudad de Machala.....	62
Figura 15. Fotobiorreactor laminar.....	65
Figura 16. Procesos potenciales de conversión de biomasa de algas	66
Figura 17. Emisiones de CO ₂ de la gestión del estiércol Emisiones de GEI procedentes del manejo del estiércol.....	77
Figura 18. Ingresos y costos de oportunidad de CO ₂ derivados de la generación de energía basada en biogás.....	78
Figura 19. Producción de piensos a partir de co-productos de biodiesel	81
Figura 20. Esquema bioeconómico propuesto en el marco de la Economía Circular	91
Figura 21. Interacciones complejas entre pobreza y las estrategias basadas en CE	93
Figura 22. Interacciones Complejas entre Pobreza y Estrategias de EC	94
Figura 23. Cambios en la pobreza multidimensional en los periodos 2009-2013 / 2014-2016.	101
Figura 24. Cambios en la incidencia-intensidad de la pobreza en los periodos 2009-2013 / 2014- 2016.....	102
Figure 25. Cambios en la pobreza Multidimensional usando datos de panel.....	103
Figure 26. Cambios en los efectos marginales en la condición de pobreza por ingresos	105
Figura 27. Inventario de ganado y emisiones de CO ₂ equivalente del ZIF Ecuador-Perú.....	112
Figura 28. Potencial energético e ingresos por ventas de energía en el ZIF Ecuador-Perú	113
Figura 29. Emisión de CO ₂ de la combustión de biogás y su equivalencia monetaria en el ZIF	114

Figure 30: Caracterización de MSW por tipología y estrato.....	115
Figure 31. Cromatograma de CO ₂ estándar a 1000 ppm y CH ₄ a 5000 ppm de concentración.....	116
Figure 32. Cromatograma de CO ₂ y CH ₄ generado en los Reactores 1A, 1B y 1C.....	117
Figure 33. Cromatograma de CO ₂ y CH ₄ generado en la fase líquida	119
Figura 34. Caracterización promedio de los residuos urbanos en el ZIF Ecuador-Perú.....	119
Figura 35. Generación eléctrica con el esquema propuesto en el BIZ Ecuador-Perú.....	120
Figura 36. Demanda proyectada de diésel y mezcla de biodiesel B5 y B10 para ZIF Ecuador-Perú	121
Figura 37. Microalgas endémicas.....	123
Figura 38. Resultados del análisis multicriterio en el NAIADE	133
Figura 39. Resultados de la comparación por pares y entropía.....	134
Figura 40. Resultados del análisis de actores en la frontera sur de Ecuador	139

Lista de Tablas

Tabla 1. Lista de proyectos y productos generados	23
Tabla 2. Combustibles utilizados en la generación de electricidad	26
Tabla 3. Usos del biogás por región	29
Figura 10. Propuesta para la maximización de las sinergias entre Agricultura y Bioenergía	39
Tabla 4. Composición de los residuos sólidos en el Ecuador	41
Tabla 5. Condiciones experimentales para la primera fase de investigación	63
Tabla 6. Condiciones experimentales para la segunda fase de investigación.....	64
Tabla 7. Resumen del análisis coste-beneficio por cultivo energético en los escenarios 1 y 2 ...	79
Tabla 8. Resumen del análisis coste-beneficio por cultivo energético en los escenarios 3 y 4 ...	80
Tabla 9. Resumen de los costos y beneficios individuales para las iniciativas propuestas	82
Tabla 10. Resumen de los costos-beneficios de las iniciativas propuestas en su conjunto	83
Tabla 11. Indicadores del Índice de Pobreza Multidimensional (MPI) en Ecuador	90
Tabla 12. Variables explicativas, descripción y revisión bibliográfica	98
Tabla 13. Cambios Anuales Absolutos y contribución a los cambios en MPI _T	102
Tabla 14. Indicadores de Calidad de Ajuste de los modelos.....	104
Tabla 15. Indicadores de sostenibilidad en las sinergias agricultura-bioenergía.....	106
Tabla 16. Cambios en la condición de pobreza por ingresos	108
Tabla 17. Cambios en la condición de pobreza multidimensional	109
Tabla 18. Resumen y Caracterización de los MSW.....	115
Tabla 19. CO ₂ y CH ₄ obtenido durante la digestión anaerobia por tipos de mezcla	117
Tabla 20. CO ₂ y CH ₄ obtenido durante la digestión anaerobia en digestor de dos fases.....	118
Tabla 21. Resumen de las emisiones equivalentes de CO ₂ en el marco circular propuesto	125
Tabla 22. Resumen de los beneficios ambientales en términos monetarios.....	125
Tabla 23. Resumen de los beneficios económicos de la generación de electricidad	126
Tabla 24. Resumen de los beneficios económicos de los subproductos en la generación de electricidad	127
Tabla 25. Resumen de los beneficios económicos para el cultivo de microalgas en PBR laminar	127
Tabla 26. Resumen de los beneficios netos en el esquema sinérgico propuesto	128
Tabla 27. Beneficios públicos y privados del esquema sinérgico propuesto	129
Tabla 28. Cambios en la condición de pobreza de los jefes de hogar en la frontera de Ecuador	130
Tabla 29. Cambios en la condición de pobreza de la población en la frontera de Ecuador.....	130
Tabla 30. Cambios en la condición de pobreza de los jefes de hogar en la frontera de Perú	130

Tabla 31. Cambios en la condición de pobreza de la población en la frontera de Perú.....	131
Tabla 32. Resumen de criterios, dimensiones y variables para el análisis multicriterio.....	132
Tabla 33. Cambios en la condición de pobreza por ingresos	137
Tabla 34. Cambios en la condición de pobreza multidimensional	137

Lista de Abreviaciones

ALC: América Latina y el Caribe

BCR: Relación o ratio beneficio/costo

CBA: Análisis Beneficio-Costo

CC: Cambio Climático

CER: Reducciones Certificadas de Emisiones

CF: Análisis de la huella de carbono

CM: estiércol de vaca

EC: Economía Circular

EF: Análisis de huella ecológica

GEI: Gases de efecto invernadero

IOA: Análisis de Insumo-Producto

LCA: Análisis del ciclo de vida

M1: microalgas en estanques abiertos

M2: microalgas en fotobiorreactores laminares

Mtep: Millones de toneladas equivalentes de petróleo

MSW: Residuos sólidos urbanos

OCDE: Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos

PAMCC: Programas de adaptación y mitigación del cambio climático

PBE: Plan Binacional de Desarrollo de la Región Fronteriza Ecuador-Perú, capítulo Ecuador

PBR: Fotobioreactor

PO: aceite de palma

RSU: residuos sólidos urbanos

SENESCYT: Secretaría Nacional de Educación Superior Ciencia y Tecnología

UTMACH: Universidad Técnica de Machala

UTPL: Universidad Técnica Particular de Loja

VAN: Valor Actual Neto

1. Introducción General

1.1. Contexto de la investigación

1.1.1. La bioenergía como una estrategia circular de desarrollo en Ecuador

La agricultura es una de las actividades económicas humanas más importantes. Constituye un sector económico clave en los países en desarrollo y contribuye de manera fundamental al desarrollo socioeconómico de los países. El cambio climático, el incremento en la demanda de alimentos y de energía, y el aumento de los residuos urbano-agrícolas destacan entre los múltiples desafíos del sector agrícola, que son de interés científico, político y público.

En respuesta a estos desafíos y aunque la aceptación social de la bioenergía en el contexto del cambio climático y la sostenibilidad sigue dependiendo de las características de la comunidad o entorno específico (Fytili & Zabaniotou, 2017), iniciativas como la producción de bioenergía se han impulsado en numerosos países. En el contexto de las relaciones entre agricultura y bioenergía se encuentran los biocombustibles, ampliamente desarrollados y estudiados a nivel global. Entre sus referentes están el etanol, biogás y biodiesel con una diversidad de aplicaciones: ejemplos de casos de estudio y uso a gran escala donde se aplican una diversidad de tecnologías que han alcanzado su fase de madurez.

El biogás toma relevancia en su transformación con fines de generación eléctrica y calor. Dentro del conjunto de países miembros de la OCDE en Europa, destaca Alemania como principal país productor, mientras que en América lo hace Estados Unidos (EE.UU.) (IEA, 2016). En el caso del biodiesel, Johansson & Azar (2007) ya advertían de una posible competencia entre los cultivos energéticos frente a los alimentarios. Existe evidencia empírica que demuestra que esta competencia es un problema real (Popp et al., 2017).

El biodiesel a base de algas, aun cuando en la actualidad no es competitivo, se considera una alternativa prometedora que no compromete las tierras cultivables; no obstante, Zhang et al. (2017) identificó que el costo de producción del biodiesel presenta una alta sensibilidad a la productividad de la biomasa de algas, al contenido de aceite de algas y

al costo del cultivo de algas, por lo que la mejora en estos factores clave podrían hacer económicamente viable el biodiesel a base de microalgas.

Sobre este particular, en algunos países de América del Sur, como Brasil, el sector de la bioenergía ha incorporado iniciativas concretas referidas a la tecnología del biodiesel a base de microalgas; sin embargo, en el resto de América Latina son escasos los estudios que vinculen las sinergias entre proyectos específicos de biocombustibles, aun en países como Ecuador: tercera economía de más rápido crecimiento en América Latina y uno de los países con menor tasa de desempleo en las Américas y en todo el mundo (OCDE/CEPAL, 2011), cuya política gubernamental, enmarcada en los Planes Nacionales de Desarrollo 2009-2013 y 2013-2017 (SENPLADES, 2009, 2013) hace hincapié en la sostenibilidad y aprovechamiento de las sinergias entre agricultura y bioenergía, y fomenta e incentiva la producción de biodiesel como mecanismo para dinamizar el sector agrícola y promover la soberanía energética responsable. Esto explicaría la razón por la cual la sustentabilidad ambiental sea uno de los dos pilares fundamentales que sustenta el Plan Nacional de Desarrollo 2017-2020 (SENPLADES, 2017)

1.1.2. Descripción del problema

En el marco de la sostenibilidad y la innovación, conceptos como el de economía circular (Pearce & Turner, 1990) toman relevancia por la atención que están recibiendo por parte de muchos países interesados en cambiar residuos por subproductos e incorporarlos en el ciclo productivo. De este modo se pasa de la producción lineal de un bien como único fin, a una producción de bienes con inclusión de residuos-subproductos en el ciclo productivo, considerados estos como elementos que interactúan dentro de un sistema mayor que está provisto de recursos limitados.

El desarrollo científico actual ha permitido elaborar estrategias bajo el concepto de economía circular que incorporan el desarrollo tecnológico de la bioenergía. A su vez, estas estrategias han generado una influencia positiva en la política y la innovación en las economías más grandes del mundo. Al revisar la literatura más reciente sobre la economía circular, se destaca el aporte de Winans et al. (2017) quien identifica tres categorías temáticas: (1) instrumentos y enfoques de políticas, en los que se abordan aquellos instrumentos regulatorios y económicos que han sido implementados para lograr un efecto deseado que solo pudiera producirse mediante la intervención gubernamental; (2)

cadena de valor, flujos de materiales y aplicaciones específicas del producto, que aborda las aplicaciones del concepto de economía circular a sistemas específicos desagregados y categorías de materiales prioritarios (madera-papel, plásticos, metales, fósforo-otros productos químicos, productos agrícolas-residuos, agua y tierra); y (3) la innovación tecnológica, organizativa y social, que aborda como la innovación puede ser estimulada por los actores gubernamentales y de la industria, por la geografía económica y las cadenas de valor, o por la retroalimentación entre sistemas ecológicos y económicos.

A nivel mundial, países como China, Alemania, Japón y Reino Unido destacan en la promoción del desarrollo de la economía circular (Geissdoerfer, Savaget, Bocken, & Hultink, 2017; Murray, Skene, & Haynes, 2017; Stahel, 2017), ya que existen evidencias empíricas (Álvarez & Ruiz-Puente, 2017; Genovese, Acquaye, Figueroa, & Koh, 2017) y proyectos regionales que abordan las relaciones agua-energía-alimentación, así como importantes innovaciones en el campo de la ingeniería de procesos en la producción de bioenergía (Winans et al., 2017); sin embargo, Lohri et al. (2017) advierte que, en general, las publicaciones de estudios de casos parecen subrepresentadas para todas las tecnologías, mientras que la investigación fundamental se orienta a mejorar la comprensión del proceso, donde los aspectos socioeconómicos y de gestión son raramente objeto de investigación.

En el caso de los países en desarrollo como Ecuador, son escasos los estudios que destaquen las sinergias agricultura-bioenergía en proyectos específicos de biocombustibles; esto a pesar de que los estudios de tales sinergias como estrategias de desarrollo, se enlaza con el objetivo cuatro de su Plan de Desarrollo: "Garantizar los derechos de la naturaleza y promover un medio ambiente sano y sostenible" (SENPLADES, 2009), y responde a la "diversificación de la matriz energética nacional", promoviendo la eficiencia y aumentando la contribución de las energías renovables sostenibles a través de un plan de desarrollo que eventualmente se implementará hasta 2025 (SENPLADES, 2013).

En este contexto, el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca promueve la producción de biocombustibles de primera, segunda y tercera generación, en consecuencia, se fomenta la producción de cultivos energéticos como materia prima para

la producción de biodiesel¹; por lo tanto, las estrategias diseñadas bajo el enfoque de la economía circular resultan adecuadas desde la perspectiva del análisis de las cadenas de valor, flujos de materiales y aplicaciones a sistemas específicos. Resulta además pertinente determinar si la economía circular contribuye al desarrollo sostenible, considerando que en el contexto del desarrollo, la reducción de la pobreza es vista como una de las principales preocupaciones a nivel global. Un claro símbolo de este hecho es que la erradicación de la extrema pobreza ha sido definida por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) como el primer objetivo de desarrollo sostenible (UN, 2015a, 2015b); en consecuencia, los marcos de referencia que describen las interacciones entre la pobreza y las estrategias de desarrollo basadas en la economía circular, pueden considerarse como una deficiencia en la literatura actual.

1.2. Objetivos

Los objetivos generales de esta tesis son dos: primero, cuantificar el potencial de una iniciativa concreta basada en las sinergias entre agricultura y bioenergía en el marco de la economía circular; y segundo, desarrollar un marco de referencia para identificar y cuantificar los efectos en las dinámicas territoriales a nivel subnacional, nacional y supranacional, que resultan de la interacción compleja entre las estrategias basadas en las sinergias agricultura-bioenergía y la pobreza.

Los objetivos específicos del estudio pueden resumirse como sigue:

- Identificar un conjunto de iniciativas basadas en las sinergias agricultura-bioenergía a partir de una revisión bibliográfica exhaustiva acerca de los recientes avances biotecnológicos y en un ámbito territorial propicio para su aplicación.
- Evaluar cuantitativamente los beneficios ambientales, sociales y económicos de las sinergias agricultura-bioenergía, sujetos a un horizonte prospectivo y a escenarios múltiples que faciliten la toma de decisiones al implementar políticas públicas.
- Determinar a nivel experimental, bajo condiciones de operación, los coeficientes relacionados con la ingeniería de procesos de los elementos dentro del esquema sistémico propuesto en las sinergias agricultura-bioenergía.

¹ Decreto Ejecutivo 1303 del 28 de septiembre de 2012, de la Presidencia de la República del Ecuador, declarando de interés nacional el desarrollo de biocombustibles. <http://www.presidencia.gob.ec/>, junio de 2015.

- Proponer un marco para evaluar las interacciones entre las iniciativas basadas en la economía circular y los cambios en la condición de pobreza en el contexto de las sinergias agricultura-bioenergía a nivel subnacional y nacional.
- Evaluar cuantitativamente los beneficios ambientales, sociales y económicos de las sinergias agricultura-bioenergía y su relación con los cambios en la condición de pobreza a nivel supranacional.

1.3. Estructura de la Tesis

Esta tesis se estructura en ocho capítulos: el primero, contiene la introducción general, establece el contexto de la investigación y describe la problemática, los objetivos y las cuestiones que se abordaron en este trabajo. El capítulo 2 resume los antecedentes de la bioenergía a nivel global y de América Latina, así como de la relación biocombustibles-economía circular; se incluyen, además, algunas consideraciones teóricas respecto a la pobreza. El capítulo 3 resume el marco metodológico de la tesis, el cual se detalla en los capítulos destinados a mostrar los resultados de la investigación (capítulos 4 y 5). Los capítulos 4 y 5 contienen las principales contribuciones empíricas y originales de la tesis en dos estudios, los que interactúan y retroalimentan. Debido a las características propias de cada estudio (objetivos, alcance y métodos), estos se organizan de manera canónica con una introducción y secciones posteriores que contienen su metodología, resultados, discusión y conclusiones. En ellos se ilustra el conjunto de métodos y herramientas cuantitativas-cualitativas aplicadas durante la investigación. El capítulo 6 muestra los resultados de la interacción entre las principales contribuciones que emanan de los capítulos 4 y 5, al implementar el esquema propuesto en el área de estudio. En el capítulo 7 se hace una discusión general de los resultados de la tesis. El capítulo 8 presenta los principales descubrimientos, el aporte al conocimiento, las limitaciones del estudio y las sugerencias para futuras investigaciones. Por último, los Anexos A-D contienen información adicional como apoyo a los datos y resultados. La Figura 1 resume el contexto de la investigación.

Figura 1. Enlaces entre los métodos de investigación y la estructura de la Tesis

1.4. Marco de investigación, difusión de resultados y publicaciones

Esta tesis doctoral se basa en los estudios realizados entre 2013 y 2017 en el marco de una beca de estudios de postgrado y financiamiento para investigación a cargo de la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia y Tecnología (SENESCYT) del gobierno de Ecuador, así como varias estancias en el país en instituciones como el Plan Binacional de Desarrollo de la Región Fronteriza entre Ecuador y Perú, capítulo Ecuador (PBE) y un proyecto de investigación dentro de la Universidad Técnica de Machala (UTMACH). Durante el período 2013-2014 se generó una activa participación en congresos internacionales, entre los que destaca el 16th Simposio Internacional de Biotecnología, en Fortaleza, Brasil, 14-19 septiembre 2014, en el que se realizaron visitas a los laboratorios de producción de biocombustibles de la Universidad de Ceará, Ceará, Brasil y a los laboratorios de EMBRAPA (empresa pública de investigación en Brasil), lo que permitió conocer el estado del arte en la producción de biocombustibles en la región.

En la estancia en Ecuador durante el 2015, el autor pudo vincularse con el organismo internacional Plan Binacional de Desarrollo de la Región Fronteriza entre Ecuador y Perú, capítulo Ecuador, y participar en el programa de formación prospectiva participativa con una carga académica de 500 horas, donde se construyeron escenarios para la frontera entre Ecuador y Perú al 2028. A ser el bioconocimiento uno de los ejes de desarrollo y futuro prometedor en esta región, esta experiencia permitió establecer el alcance y orientación de la investigación en el marco de generar políticas públicas orientadas hacia el desarrollo de largo plazo y con potencial de exportación hacia un ámbito supranacional. Como complemento de la estancia en Ecuador el autor participó en el taller de construcción de un Análisis Multicriterio para el ecosistema Bosque Seco entre Ecuador y Perú (Cazaderos – Casitas), organizado por el PBE y la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL).

Durante el período de estancias en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), el autor fortaleció y adquirió nuevas herramientas metodológicas en el campo de las estadísticas aplicadas a la investigación en ciencias sociales; todo esto bajo la dirección de la profesora María Blanco. Este marco de formación y desarrollo de habilidades en investigación permitieron al autor acceder al financiamiento para proyectos específicos de investigación según convocatoria interna de la UTMACH con el proyecto RES-396-2016 “Sinergias entre Agricultura y Bioenergía: La producción de Biogás en el Cantón Machala”, con una duración de 12 meses.

Este proyecto jugó un papel importante en el desarrollo de esta tesis. A través de este proyecto, el autor participó en varias actividades que generaron redes de trabajo con otros grupos de investigación como el de Aplicaciones Electroanalíticas, Carrera de Ingeniería Química, a cargo del profesor Hugo Romero, PhD, quien colaboró activamente en la dirección de las actividades relacionadas a la ingeniería de procesos durante la fase experimental en la producción de biogás y la transesterificación de lípidos en la producción de biodiesel.

Durante la estancia de investigación en el desarrollo del proyecto RES-396-2016, el autor en paralelo implementó las tecnologías de producción de biomasa de microalgas en los fotobiorreactores laminares, todo esto con el financiamiento para investigación de la beca de estudios otorgada por la SENESCYT. Los resultados de estas actividades se presentan

en dos capítulos como colaboraciones en dos libros colectivos, un documento de trabajo en revisión y un artículo científico publicado en 2017.

Del resultado de colaboraciones con otros grupos de investigación no relacionados a la línea directa de trabajo en esta tesis, se presentan dos artículos científicos y como resultado de líneas de trabajo conjunto, relacionados con el aprovechamiento de desechos orgánicos (Economía Circular y Bioenergía), se cuenta con un manuscrito en revisión como autor principal y otro manuscrito en revisión en calidad de coautor.

Tabla 1. Lista de proyectos y productos generados

Proyecto RES-396-2016 – UTMACH
“Sinergias entre Agricultura y Bioenergía: La producción de Biogás en el Cantón Machala”
<i>Publicación en revistas JCR</i>
Vega-Quezada, C. A., Blanco, M., & Romero Bonilla, H. (2017). Synergies between agriculture and bioenergy in Latin American countries: A circular economy strategy for bioenergy production in Ecuador. <i>New Biotechnology</i> . https://doi.org/10.1016/j.nbt.2016.06.730
<i>Capítulos en libros</i>
Vega-Quezada, C. A., Blanco, M., & Romero, H. (2016). Production of Bioenergy in the Framework of Circular Economy: A Sustainable Circular System in Ecuador. In L. Kumar Singh & G. Chaudhary (Eds.), <i>Advances in Biofeedstocks and Biofuels: Volume 1 - Biofeedstocks and Their Processing</i> (1st ed., p. 192). Canada: John Wiley & Sons Inc.
Vega-Quezada, C.A., Blanco, M., (2017). Photobioreactors within the Framework of Circular Economy and Poverty Eradication: Bioenergy Production in the Ecuador-Peru Border Integration Zone, in: Tsang, Y.F. (Ed.), <i>Photobioreactors: Advancements, Applications and Research</i> . Nova, science publisher.
<i>Documentos de trabajo</i>
Vega-Quezada, C.A., Blanco, M., Varela-Veliz, G., Orosco, M., (2017). The potential of circular agriculture-bioenergy strategies in the eradication of poverty on the Ecuador-Peru border, working paper.
<i>Actas de Congresos</i>
Vega-Quezada, C. A., Blanco Fonseca, M., & Romero Bonilla, H. (2016). The circular agriculture applied in neighboring countries: the case of biogas on the border between Ecuador and Peru. in: 17th European Congress on Biotechnology. Krakow, Poland. <i>New Biotechnology</i> , 33, S66–S67. https://doi.org/10.1016/j.nbt.2016.06.953
Vega-Quezada, C. A. & Blanco Fonseca, M. (2017). El potencial de las sinergias entre agricultura-bioenergía en la reducción de la pobreza: el estudio de caso en Ecuador. in: 11th Congreso de la Asociación Española de Economía Agraria. Orihuela-Elche, España.
Otros proyectos y productos
<i>Publicaciones en otras revistas científicas</i>
Romero, H.1 ; Acaro, J.1 ; Camacho, A., Castillo, A., Vega, C. , Dávila, K., Gadway, K., (2017). Confiabilidad de un método para la determinación de CO ₂ por cromatografía de gases Reliability of a method for determining CO ₂ by gas chromatography. <i>Cumbres</i> 3, 41–46.

Romero Bonilla, H.Í., Tello Román, D.C., **Vega Quezada, C.A.**, Castillo Sánchez, A.E., (2017). Costos por corrosión de hierro ASTM A36 en procesos hidrometalurgicos auríferos. Comparación entre cianuro y tiourea. Ind. Data 20, 37. doi:10.15381/idata.v20i1.13506

Actas de Congresos

Romero B, H., Vera, T., Gadway, K., Dávila, K., Pesantez, F., **Vega-Quezada, C.A.**, (2017). Development and validation of a voltammetric method for the determination of antimony in aqueous medium, in: 4th European Chemistry Congress. Barcelona, Spain. doi:10.4172/2150-3494-C1-008

Vega-Quezada, C.A., Blanco, M., Romero, H., (2014). Synergies between agriculture and bioenergy in Latin American countries: the potential bioeconomic biodiesel in Ecuador. In Carioca et al. (Eds): Biotechnology for the Development of a Green Economy, Proceedings of the 16th International Biotechnology Symposium and Exhibition (IBS 2014), p. 843-844. ISBN: 978-85-420-0788-6.

Martínez-Jiménez, D.-A., Salcedo-Muñoz, V., **Vega-Quezada, C.A.**, Varela-Veliz, G., (2017). Crecimiento económico y medio ambiente en Sudamérica: ¿Existe la curva ambiental de Kuznets en la región?, in: V Congreso Sobre Cambio Climático. La Habana, Cuba, del 3 al 7 de julio de 2017.

2. Antecedentes y propuesta teórica

Esta sección provee los antecedentes sobre los asuntos generales y aspectos de la Tesis. El estado del arte específico, los métodos y herramientas cualitativas-cuantitativas se incluyen dentro del capítulo pertinente.

2.1. Energía y Bioenergía

La producción mundial de energía primaria, cuantificada en millones de toneladas de petróleo equivalente (Mtep), se ha más que duplicado de 1973 a 2010. La Figura 2 muestra este aumento dramático en dicho período, así como la participación regional en la producción mundial de energía, destacando los aumentos en la producción en Asia, incluyendo China, así como en el Medio Oriente.

El consumo mundial de energía primaria ha experimentado un aumento igualmente importante entre 1973 y 2010, pasando de 4672 Mtep en 1973 a 8677 Mtep en 2010. Durante este período, el gas natural ha experimentado un ligero aumento en su respectiva proporción de energía total consumida: 14% en 1973 a 15.2% en 2010, mientras que la proporción de biocombustibles y materiales de desecho ha bajado del 13.2% al 12.7%.

Figura 2. Regiones productoras de energía primaria mundial en los años 1973 y 2010

* Asia no incluye a China

** Incluye la aviación internacional y bunkers marinos internacionales

Fuente: (IEA, 2013), Formulado por los autores

En valores absolutos, el consumo de gas natural ha aumentado de 654.1 a 1318.9 Mtep, mientras que los consumos de biocombustibles han aumentado de 616.7 Mtep en 1973 a 1101.2 Mtep en 2010 (IEA, 2013). La tendencia en el crecimiento del consumo energético

mundial, considerada a un ritmo anual entre 1973 y 2010, fue del 1.68%, el consumo de gas natural aumentó un 1.91% y los biocombustibles un 1.58%, lo que sugiere que el consumo de estas formas de energía continuará creciendo en el futuro.

Del total mundial de consumo de energía primaria utilizado en 2010, el 17.7% (equivalente a 1536 Mtep) se utilizó en la generación de electricidad. En la Tabla 2 se presentan los porcentajes aproximados y la cantidad de consumo de energía, en Tera vatios-hora (TWh) para cada tipo de combustible utilizado en la generación.

Tabla 2. Combustibles utilizados en la generación de electricidad

Año	1973		2010	
	TWh	Porcentaje	TWh	Porcentaje
Tipo de Combustible				
Total	6115,0	100%	21431,0	100%
Hydro	1284,2	21,0%	3429,0	16,0%
Other **	36,7	0,6%	792,9	3,7%
Coal/peat	2342,0	38,3%	8701,0	40,6%
Oil	1510,4	24,7%	985,8	4,6%
Natural gas	739,9	12,1%	4757,7	22,2%
Nuclear	201,8	3,3%	2764,6	12,9%

* Excluye bombas de almacenamiento.

** Otros incluye: Geotérmica, solar, eólica, biocombustibles, materiales de desecho y calor.

Fuente: (IEA, 2013), Formulado por los autores.

Al analizar el aumento de la generación eléctrica global entre 1973 y 2010, se observa que la tasa de crecimiento anual fue del 3.45%, mientras que la generación de energía renovable, solar, eólica, biocombustibles, geotérmica, entre otros, aumentó al 8.66% anual. Este aumento en la generación de energía renovable se ha atribuido en la mayoría de los casos a la preocupación internacional por mitigar el cambio climático, lo que ha generado perspectivas favorables para desarrollar actividades orientadas al mayor aprovechamiento del potencial de las tecnologías de energía renovable.

Para modelar el suministro energético mundial futuro, la Agencia Internacional de Energía (IEA) ha pronosticado dos posibles escenarios para el año 2035: El primer escenario: "Nuevas Políticas", se ha desarrollado sobre la base de las políticas, compromisos y planes anunciados y desarrollados por varios países y regiones de todo el mundo. El segundo escenario se ha desarrollado dentro de un marco político-climático post-2012, que busca estabilizar la concentración de gases de efecto invernadero a 450 ppm de CO₂ equivalente sobre la base de las políticas actualmente en estudio (IEA, 2013). Los resultados esperados de ambos escenarios para 2035 se muestran en la Figura 3.

Figura 3. Escenarios de suministro de energía primaria en el mundo para 2035

(a) NPS: Nuevas Políticas **(b)** 450S: Escenario 450

* Incluye aviación internacional y bunkers marinos internacionales.

** Otros incluyen geotérmica, solar, eólica, biocombustibles, residuos y calor.

Fuente: (IEA, 2013), Formulado por los autores.

2.1.1. Biogás

El biogás es el resultado de la fermentación y digestión anaerobia de materiales orgánicos. La implementación de sistemas de biogás a menudo conduce a mejoras significativas en la eficiencia de los recursos y a una mayor reducción de los impactos ambientales en comparación con la actual gestión de residuos y las prácticas agrícolas (Börjesson & Berglund, 2007). Además de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, los sistemas de biogás pueden reducir, entre otros, la eutrofización y la contaminación atmosférica, y hacer un mejor uso de los nutrientes de los cultivos (Lantz, Svensson, Björnsson, & Börjesson, 2007).

El estudio de Börjesson & Berglund, (2007), que comparó los sistemas de biogás con los combustibles fósiles, concluyó que la introducción de sistemas de biogás puede conducir a beneficios tanto directos como indirectos. Al respecto, se descubrió que los beneficios indirectos incluyen la reducción de la lixiviación de nitrógeno y de la producción de amoníaco y metano a base de estiércol, considerando además que otros desechos orgánicos y residuos de cultivos pueden utilizarse en el proceso de producción en lugar de desperdiciarse. Sin embargo, cuando se introducen sistemas de biogás para reemplazar otros sistemas de biocombustibles, incluso para la producción de calor y etanol o para quemar residuos orgánicos, las emisiones de gases de efecto invernadero pueden aumentar (Börjesson & Berglund, 2007). A lo largo del proceso de producción de biogás, es necesario estimar las emisiones de CO₂, que pueden ser mitigadas, así como el potencial de producción de electricidad.

En la actualidad no existen medios establecidos para comercializar biogás en los mercados internacionales. Según la IEA, a partir de 2009 el 100% de la producción global se consumía localmente. La Figura 4 destaca la generación eléctrica expresada en gigawatts horas (GWh) y la producción bruta de calor en Tera Joules (TJ), producida por la combustión global del biogás.

Figura 4. Energías renovables y de residuos en 2009
Fuente: (IEA, 2009), Desarrollado por los autores

El uso principal del biogás se centra en la generación eléctrica; sin embargo, otros usos importantes están disponibles para esta bioenergía, incluyendo el consumo industrial y los usos residenciales, tal como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Usos del biogás por región

	Resto del Mundo	OECD Américas	OECD Asia Oceanía	OECD Europa
<i>Unidad</i>	<i>TJ</i>	<i>TJ</i>	<i>TJ</i>	<i>TJ</i>
Producción	327862	221994	32306	354529
Transformación	2351	115800	29692	313044
Las plantas de electricidad	1690	101350	21236	259121
Las plantas de cogeneración	629	14162	1571	50611
Instalaciones térmicas	32	0	6885	2780
Otros Transformación	0	288	0	532
Consumo Final	325260	106144	2605	39747
Industria	20	104546	328	19136
Transporte	0	0	0	903
Residencial	325027	0	0	2764
Servicios comerciales y públicos	160	1586	2146	13381
Agricultura / Forestal	38	12	0	3463
Uso no energético	15	0	131	100

Fuente: (IEA, 2009), Desarrollado por los autores

2.1.2. Biodiesel

A diferencia del biogás, el biodiesel se encuentra en los mercados internacionales gracias a los grandes volúmenes de importaciones y exportaciones que se manejan. Los principales exportadores netos de biodiesel son Argentina, Brasil, Indonesia, Malasia y Estados Unidos, siendo Argentina la de mayor volumen exportado. Los orígenes del biodiesel se remontan a Argentina y Brasil con soja; soja y colza en Estados Unidos; y aceite de palma en Malasia e Indonesia (Dufey & Stange, 2011).

El análisis de mercados agrícolas utilizando modelos matemáticos y modelos de equilibrio parcial, sugiere que las exportaciones mundiales de biodiesel aumentarán de 626 millones de galones en 2012 a 936 millones en 2025 (FAPRI, 2012), siendo Indonesia y Malasia quienes experimentarán un mayor crecimiento en la partición internacional como exportadores netos de biodiesel, superando en conjunto a las exportaciones de biodiesel de soja provenientes de Argentina. La Figura 5 destaca la dinámica esperada de los mercados internacionales entre 2010 y 2025, basada en el modelo FAPRI, (2012). Las cifras demuestran el cambio en los mercados y cómo los líderes exportadores actuales se vuelven cada vez menos importantes para el año 2025. Por ejemplo, en 2010, Argentina tuvo una relación entre el porcentaje de mercado y el porcentaje de países exportadores

de 3.29 y 3.42 en 2011. Sin embargo, esta proporción se redujo a 2.06, lo que indica un claro cambio y distribución de las exportaciones causado por el crecimiento en Indonesia y Malasia, que para 2025 tendrá una ratio combinado de 2.59.

Figura 5. Tendencias de los márgenes de potencia de mercado y biodiesel
Fuente: (FAPRI, 2012), Formulado por los autores

La Figura 5 también presenta información adicional, incluyendo el margen de beneficio del biodiesel desde la planta hasta el precio FOB dentro de la Unión Europea, con un margen medio del 20%. La UE es el mayor consumidor mundial de biodiesel, consumiendo el 84% de las exportaciones mundiales en 2012 y el 99% en 2025.

2.2. Bioenergía en países latinoamericanos

La producción mundial de energía renovable ha crecido notablemente desde 1973 (Figura 6). Según la Agencia Internacional de la Energía, la producción de energía renovable aumentó de 756.52 Mtep en 1973 a 1931.56 Mtep en 2014 (IEA, 2016a).

La Figura 6 muestra claramente los cambios en cuanto a la producción de energías renovables en las regiones. Puede observarse un considerable aumento en el continente europeo, así como el notable incremento de la producción en África y América Latina, de 79.64 Mtep en 1973 a 209.62 Mtep en 2014.

Figura 6. Producción de energía a partir de energías renovables entre 1973 y 2014
(a) 1973 y (b) 2014
Fuente: (IEA, 2016a).

La Figura 7 ilustra los gráficos comparativos entre la producción de energía renovable, el consumo de energía final y el suministro total de energía primaria en los principales países latinoamericanos. En esa figura se destaca Brasil como un importante consumidor de energía con 232.1 Mtep, un proveedor de energía primaria con 303.2 Mtep y produce energía renovable en el orden de los 118.1 Mtep en 2014 (IEA, 2016b). En todos los casos se observa que el suministro de energía primaria es mayor que el consumo total de energía, de lo cual pudiera inferirse que América Latina es una región productora de energía neta.

Figura 7. Energías renovables, abastecimiento primario y consumo final en países Latinoamericanos

Fuente: (IEA, 2016b) * Nomenclatura de países por Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

2.3. Los biocombustibles en Ecuador

Ecuador es la tercera economía de más rápido crecimiento en América Latina y actualmente es uno de los países con menor tasa de desempleo en las Américas y en todo el mundo (OCDE/CEPAL, 2011). Ecuador es uno de los países con mayor biodiversidad en el mundo y de mayores recursos minerales; es, además, el único en el mundo que contempla en su constitución el derecho a la naturaleza (Asamblea Constituyente, 2008). Destaca como uno de los principales productores y exportadores de petróleo en la región, además de ser considerado como el principal exportador de banano a nivel mundial, y registrar un importante volumen de exportaciones de flores, camarón y cacao (MCE, 2018).

2.3.1. Plan Nacional de Desarrollo

Como resultado de la continuidad de los grandes lineamientos de una agenda alternativa para el Ecuador, presentada como propuesta de cambio por el Movimiento País y con base en su antecesor: el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2010, el nuevo plan (2009-2014/2013-2017) recogía y buscaba concretar las revoluciones delineadas en el proyecto de cambio de la Revolución Ciudadana.

Como indica (SENPLADES, 2009, 2013) “... Tales revoluciones fueron:

- Revolución constitucional y democrática, para sentar las bases de una comunidad política incluyente y reflexiva, que apuesta a la capacidad del país para definir otro rumbo como sociedad justa, diversa, plurinacional, intercultural y soberana. Ello requiere la consolidación del actual proceso constituyente, a través del desarrollo normativo, de la implementación de políticas públicas y de la transformación del Estado, coherentes con el nuevo proyecto de cambio, para que los derechos del Buen Vivir sean realmente ejercidos. Para esto, es indispensable la construcción de una ciudadanía radical que fije las bases materiales de un proyecto nacional inspirado por la igualdad en la diversidad.
- Revolución ética, para garantizar la transparencia, la rendición de cuentas y el control social, como pilares para la construcción de relaciones sociales que posibiliten el reconocimiento mutuo entre las personas y la confianza colectiva, elementos imprescindibles para impulsar este proceso de cambio en el largo plazo.
- Revolución económica, productiva y agraria, para superar el modelo de exclusión heredado y orientar los recursos del Estado a la educación, salud, vialidad, vivienda, investigación científica y tecnológica, trabajo y reactivación productiva, en armonía y complementariedad entre zonas rurales y urbanas. Esta revolución debe concretarse a través de la democratización del acceso al agua, tierra, crédito, tecnologías, conocimientos e información, y diversificación de las formas de producción y de propiedad.
- Revolución social, para que, a través de una política social articulada a una política económica incluyente y movilizadora, el Estado garantice los derechos fundamentales. Esta política integral, coherente e integradora, es la que ofrece las oportunidades para la inserción socioeconómica y, a la vez, para fortalecer las capacidades de las personas, comunidades, pueblos, nacionalidades y grupos de atención prioritaria, con el fin de que ejerzan libremente sus derechos.
- Revolución por la dignidad, soberanía e integración latinoamericana, para mantener una posición clara, digna y soberana en las relaciones internacionales y frente a los organismos multilaterales. Ello permitirá avanzar hacia una verdadera integración con América Latina y el Caribe, así como insertar al país de manera estratégica en el mundo...” (SENPLADES, 2009).

Dichas revoluciones responden al proceso constituyente del 2008 que tuvo como resultado un nuevo pacto social reflejado en la nueva Constitución de la República del

Ecuador. Para su cristalización, el plan establece doce objetivos nacionales que permitirán alcanzar el Buen Vivir; cada uno de ellos con su respectiva fundamentación, diagnóstico, políticas, lineamientos y metas.

Como referente para el análisis de las sinergias entre agricultura y bioenergía, destaca el Objetivo 4: “Garantizar los derechos de la naturaleza y promover un ambiente sano y sustentable”, donde la Política 4.3 hace referencia a: “Diversificar la matriz energética nacional” promoviendo la eficiencia e incremento en la participación de energías renovables sostenibles. A pesar de que el plan aborda el período 2009-2013, en el mediano y largo plazo se establece un horizonte de desarrollo que tiene lugar con escenarios proyectados hacia el 2025.

2.3.2. Cultivos de interés energético

El Ecuador cuenta con una superficie de 24.847.640 hectáreas, de las cuales el 34,9% corresponde al uso de suelo agropecuario (MAGAP, Mapa de Cobertura y Uso del Suelo en el Ecuador, 2011). En la actualidad existen dos cultivos energéticos que cuentan con gran cantidad de superficie sembrada: la caña de azúcar y la palma africana.

El cultivo de caña de azúcar ocupaba una superficie de 137.829 hectáreas en el año 2011 según MAGAP Mapa de Cobertura y Uso del Suelo en el Ecuador, (2011) de las cuales 94.835 hectáreas, que representan el 69% se destina a la producción de azúcar, mientras que las restantes 42.990 hectáreas, equivalentes al 31% de la superficie del cultivo, se destinan a otros usos que van desde la producción artesanal de panela, aguardiente y, en los últimos años, a proyectos a pequeña y mediana escala en la producción de etanol.

Según datos del Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (SINAGAP) la superficie óptima del cultivo de caña de azúcar que corresponde a aquellas áreas en donde las condiciones naturales de suelos, relieve y clima presentan las características más idóneas para el establecimiento de dicho cultivo, es de 465.131 hectáreas, las mismas que se encuentran georeferenciadas y se muestran en el mapa de “zonificación agroecológica del cultivo de caña de azúcar en condiciones naturales” (MAGAP, GEOPORTAL del agro ecuatoriano, 2012).

El segundo cultivo energético por orden de importancia en el Ecuador es la palma africana. Según el Censo Palmicultor realizado por SINAGAP en el año 2006, su superficie de cultivo era de 207.285 hectáreas sembradas, de las cuales solo el 42,43%

que corresponden a 87.955 hectáreas, reportaron sus volúmenes de producción anual que, expresadas en toneladas métricas (Tm/año), totalizaron 709.424 Tm/año, lo que permitió establecer un rendimiento medio de 8 Tm/ha/año.

Al igual que en el caso del cultivo de caña de azúcar, SINAGRO ha elaborado un mapa de “zonificación agroecológica del cultivo de palma africana en condiciones naturales” (MAGAP, GEOPORTAL del agro ecuatoriano, 2012). La superficie total establecida en este mapa fue de 408.938 hectáreas. Adicionalmente se dispone de la ubicación de las extractoras de aceite de palma, tanto a nivel nacional como desagregadas por provincias. De dicha información destaca que las provincias de Esmeraldas y Santo Domingo concentran más del 80% de las 42 plantas de extracción a nivel nacional con el 43% y 38% respectivamente.

Para el año 2011 la superficie cultivada de palma africana alcanzó las 244.574 hectáreas. En el 98% de tal superficie, que corresponde a 240.610 hectáreas, el cultivo de palma se hace de manera exclusiva, mientras que en el 2% restante se realiza de forma asociada con otros cultivos. El total de hectáreas en edad productiva que se cosecharon en el 2011 fue de 202.650 hectáreas, alcanzando una producción anual de 2.907.356 Tm con un rendimiento medio anual de 10,34 Tm/ha/año. Al compararlo con los rendimientos de la producción del año 2006 se observa un incremento en productividad del 29,25% para todo el período.

Figura 8. Demanda potencial de biodiesel y superficie disponible para cultivos energéticos
Fuente: Datos serie 2004-2011 (BCE B. C., 2012) (INEC I. N., 2008), Proyección al 2025 elaboración propia.

La Figura 8 complementa la información referente a la superficie disponible en el Ecuador para los cultivos energéticos, observándose una tendencia a la baja en la cantidad de superficie disponible, la misma que corresponde al uso de suelo que se encuentra en descanso durante el período ya que representa aquella superficie que no supondrá competencia con cultivos destinados al alimento humano ni será de esperarse que el costo de oportunidad de arrendar esta superficie sea de precios elevados. En el eje izquierdo se observa la leyenda “millones de litros” que representa la demanda de biodiesel requerida en el Ecuador según la mezcla del biodiesel (5% o 10%).

2.4. Marco legal y demanda potencial de biodiesel en el Ecuador

2.4.1. Marco legal

Con el decreto presidencial Nro. 1303 del 17 de septiembre de 2012, expedido en Quito, y considerando el artículo 413 de la Constitución del Ecuador, el Código Orgánico de la Producción, Comercio e Inversiones, el literal d) del artículo 3 de la Ley Orgánica del Régimen de Soberanía Alimentaria, el artículo 11 de la Ley de Hidrocarburos, el objetivo y política 4 del Plan Nacional del Buen Vivir 2009-2013; se define que el desarrollo de normas técnicas que debe cumplir el biodiesel (NTE INEN 2 482:2009) elaboradas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización y que el desarrollo de los biocombustibles en el país servirán de medio para el impulso del fomento agrícola nacional; así, el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca fomentará la producción de cultivos energéticos de primera, segunda y tercera generación, que se requieran como materia prima para la obtención de biocombustibles para uso en motores diésel dispone:

“Artículo 1.- Declárese de interés nacional el desarrollo de biocombustibles en el país como medio para el impulso del fomento agrícola. La producción, el uso y el consumo de los biocombustibles responderán a una estrategia inclusiva de desarrollo rural, precautelando la soberanía alimentaria y sostenibilidad ambiental.

Artículo 2.- El combustible diésel Premium que se utilice en el país deberá contener biodiesel de origen vegetal de producción nacional, para uso en motores diésel.

Artículo 3.- Contados ocho (8) meses a partir de la suscripción del presente Decreto Ejecutivo, la distribución y comercialización de la mezcla de diésel base con biodiesel de producción nacional, se aplicará en todo el territorio nacional en una proporción del 5% de biodiesel (B5), de acuerdo con los requisitos técnicos que determine la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero.

Artículo 4.- La producción, distribución y comercialización de biodiesel estará sometida a la libre competencia, y como tal, podrán participar en estas actividades las personas naturales o jurídicas de carácter público o privado, en igualdad de condiciones, según lo establece la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública.

Artículo 5.- La transportación de biodiesel desde los centros de producción hasta las terminales de la EP PETROECUADOR, será de responsabilidad de los productores, distribuidores y comercializadores de biodiesel; y, la recepción, almacenamiento, mezcla del biodiesel con diésel base y la comercialización de dicha mezcla, será responsabilidad de EP PETROECUADOR de acuerdo con la normativa que establezca la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero, para el efecto...” (Presidencia, 2012).

La disposición general primera indica que: “El combustible diésel destinado al sector automotriz que se utilice en el país deberá ir incrementando progresivamente el porcentaje de biodiesel de origen vegetal de producción nacional, hasta llegar a un 10% (B10); incremento que se aplicará en función de la oferta nacional de biodiesel y de acuerdo con los requisitos técnicos definidos por la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero. En caso de déficit de producción nacional de biodiesel, se podrá establecer medidas transitorias de reducción del porcentaje de mezcla...” (Presidencia, 2012).

2.4.2. Demanda potencial de biodiesel en Ecuador

En el año 2012, el Ecuador consumió 10,287.26 millones de litros de combustibles fósiles, de los cuales 4,568.68 millones de litros corresponden al consumo de diésel, el cual fue comercializado a un precio interno de 0.26 dólares/litro (BCE B. C., 2012).

La Figura 9 muestra la evolución desde el 2008 al 2012 del consumo de los tres principales combustibles líquidos dentro del Ecuador; en el eje izquierdo se muestra el volumen del consumo expresado en millones de litros de combustible en donde se observa que el Gas Licuado de Petróleo (GLP) es el combustible que menor crecimiento en su

demanda durante este período, dicho incremento asciende a los 65.32 millones de litros de combustible.

Figura 9. Consumo de combustible, precio del diésel y precio mundial del biodiésel
Fuente: (BCE, 2012; FAPRI, 2012), Desarrollado por los autores

En el caso del diésel y la gasolina, el comportamiento de su demanda ha sido más dinámica, siendo el volumen de consumo de la gasolina la que ha experimentado un mayor incremento al pasar de 2,790.20 millones de litros en el 2008 a 3,752.39 millones de litros al 2012 (BCE B. C., 2012).

Para efectos del estudio se analiza la evolución del consumo de diésel en el Ecuador y se proyecta en función de la tendencia observada, en cuanto al potencial volumen de consumo (en millones de litros) que cabría esperar para el año 2025, período que para efectos de este estudio se considerará como el horizonte de análisis justificado u horizonte de tiempo para el cual se han planificado las estrategias de desarrollo en el Ecuador.

A pesar de que la demanda de combustibles en el mercado depende de diversos factores tales como el número de automóviles, nivel de ingresos, así como de los precios internacionales de los combustibles, para simplificar el análisis y proyección de la demanda interna se supone una tasa de crecimiento constante con base en información histórica.

2.5. Propuesta teórica

2.5.1. Estrategia para maximizar las sinergias entre agricultura y bioenergía en Ecuador

Las sinergias entre agricultura y bioenergía son un sistema complejo y como tal se describen como un todo; por ello, a través de una revisión de la literatura actual se elabora una propuesta teórica y se identifican sus componentes, donde se establece que el resultado del sistema no es la simple suma de sus componentes individuales, sino el resultado de la interacción de sus partes entre sí para formar el todo.

La Figura 10 muestra la propuesta de actividades en su conjunto, como un sistema que está conformado por iniciativas que han sido implementadas en países como Alemania, EE.UU., Japón, etc.; Estas iniciativas se han ejecutado individualmente a pequeña, mediana y gran escala, más no existen estudios recientes que valoren estas iniciativas en su conjunto, ni de forma teórica ni experimental.

El biogás es el primer biocombustible propuesto para describir las sinergias agricultura-bioenergía; El propósito de su producción dentro de nuestro esquema circular es para la producción de electricidad, mientras que el uso del CO₂ emitido como un subproducto de la combustión, es considerado como un insumo para la producción de microalgas; las mismas que constituyen la biomasa necesaria para la producción de biodiesel.

Figura 10. Propuesta para la maximización de las sinergias entre Agricultura y Bioenergía

El sistema propuesto busca maximizar las sinergias entre agricultura y bioenergía, donde el producto final representativo de la bioenergía es el biodiesel, entendido como respuesta a las iniciativas internas orientadas al fomento de los biocombustibles, en el caso del Ecuador, e iniciativas globales tales como las directivas de la Unión Europea con un horizonte de tiempo al 2025.

A continuación se describen los componentes del sistema propuesto, identificando como están funcionando en la actualidad y como se espera que interactúen para maximizar el bienestar del sistema.

2.5.2. Tratamiento Agrícola

Con las actividades agropecuarias que caracterizan al Ecuador se establece en primera instancia la posibilidad de realizar un tratamiento agrícola a los residuos orgánicos que se generan a partir de los procesos productivos; en este caso, los residuos analizados serán el estiércol y purines de la producción ganadera.

En la actualidad no se cuenta con un protocolo para el manejo de estiércol y purines. Estos residuos son excretados por el ganado directamente al pasto y por escorrentía a ríos cercanos a las explotaciones, generando metano (CH_4) y óxido de nitrógeno (NO_2), los cuales contribuyen a deteriorar la calidad del aire y al calentamiento global. Para este estudio, el volumen de tales gases se expresa en toneladas equivalentes de CO_2 (ton equiv. CO_2)

En función de la cantidad de ganado existente en el Ecuador y según metodología de la EPA, (2013) y basada en los lineamientos del IPCC, (2006); se estimará la cantidad de ton equiv. CO_2 que son emitidas anualmente según tipo de ganado, peso y tecnificación de las explotaciones agrícolas.

Para maximizar el bienestar del sistema se prevé realizar un tratamiento de residuos agrícolas que consiste en el almacenamiento del estiércol y purines para su posterior recolección, lo cual permitirá reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y a la vez aprovechar el potencial de estos residuos orgánicos agrícolas (ROA) para convertirse en Biogás.

Para establecer el potencial de conversión de la materia orgánica del estiércol y purines del ganado a Biogás se estimará el contenido en billones de BTU/año según el estudio de Cuéllar & Webber, (2008) .

2.5.3. Tratamiento de la Basura

Otro de los procesos sinérgicos dentro de la propuesta es el tratamiento de la basura de los centros poblados. Para los efectos del estudio se asume que no existe separación de basura en la fuente y se excluyen los residuos provenientes de industrias, hospitales y centros de salud.

En la actualidad, luego de recolectar la basura, se acopia y realiza un pretratamiento de lixiviados en ciertos municipios para su posterior uso como relleno sanitario, lo cual genera potenciales emisiones de CH₄ y filtración de líquidos lixiviados al subsuelo, contaminando los acuíferos subterráneos cercanos.

Según el informe del análisis sectorial realizado por la Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud con su División de Salud y Ambiente en el año 2002, la tasa de generación de residuos sólidos fue de 7423 toneladas por día de basura en el Ecuador; de esta cantidad, el 41.7% corresponde a los desechos sólidos generados por las ciudades de Quito y Guayaquil; es decir, unas 3097 toneladas por día (OPSyOMS, 2002). La naturaleza de los residuos sólidos en el Ecuador según este informe es la siguiente:

Tabla 4. Composición de los residuos sólidos en el Ecuador

Material	Porcentaje (%)	Producción (ton/día)
Materia orgánica	71.4%	5298
Papel y cartón	9.6%	709
Plástico	4.5%	336
Vidrio	3.7%	274
Metales	0.7%	53
No especificado	10.1%	753
TOTAL	100.0%	7423

Fuente: (OPSyOMS, 2002)

La propuesta contempla el tratamiento de estos residuos a través de la separación en fuente como estrategia en el largo plazo. En el corto plazo, una vez que llega la basura al centro de acopio se inicia el proceso de reciclaje de los desechos sólidos; aquellos residuos orgánicos urbanos (ROU) que no pueden ser separados, pasan a un biodigestor

en una mezcla del 90% ROU y 10% ROA que permitan generar biogás para su uso en la cogeneración eléctrica.

La estimación del potencial de la cogeneración eléctrica será expresada en millones de KWh que estarían disponibles para alimentar el circuito nacional interconectado de energía eléctrica en el Ecuador, además de considerar que, como resultado de la energía eléctrica a partir de la combustión del biogás, se obtienen toneladas de CO₂ según estudio de Cuéllar & Webber, (2008).

2.5.4. Producción de Algas

Esta actividad es relativamente nueva, justificándose por el hecho de que al realizar un balance entre las toneladas equiv. CO₂ que se dejan de emitir por los ROA en el tratamiento agrícola, y las toneladas de CO₂ resultantes de la generación eléctrica por la combustión de biogás, el efecto mitigador queda casi anulado. La propuesta considera que estas emisiones de CO₂ causadas por la generación eléctrica pueden ser redistribuidas hacia la producción de biomasa que sea más eficiente para el aprovechamiento del CO₂, siendo esta la representada por las microalgas.

El CO₂ emitido por la combustión del biogás es suministrado a los cultivos de microalgas bajo el prototipo de esquema productivo que utiliza el fotobiorreactor laminar diseñado por el Dr. Jesús Fernández, profesor de la Universidad Politécnica de Madrid con patente PCT/ES2011/000104, el mismo que incorpora los gases emitidos por la combustión de motores y permiten disminuir costos de extracción y cosecha de la biomasa de algas.

La innovación con este fotobiorreactor permitirá que de manera rural se inicie la producción de microalgas incrementando la oferta de biomasa para su posterior proceso de licuefacción y transesterificación para obtener biodiesel.

Se estimará la producción de biodiesel a partir de microalgas, así como el volumen potencial de sustrato (toneladas de biomasa algal después de extraer lípidos para biodiesel), este se orientaría para el alimento del ganado bobino durante las épocas de verano en la que disminuyen los pastos; y otro uso potencial es la alimentación de aves como sustituto de la soja, permitiendo de este modo disminuir el volumen de su importación, mejorar la balanza comercial y la competitividad del sector agrícola al tener insumos económicos, y mitigar las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) expresados en ton equiv. de CO₂.

3. Metodología del Estudio

3.1. Marco metodológico

A fin de cumplir con los objetivos de investigación que han sido propuestos, se analizaron distintas posibilidades de reutilización de residuos y de producción de bioenergía, incluyendo un diseño experimental de producción de biogás y biomasa a partir de microalgas. Este trabajo se ha realizado en el área de estudio que se describe en el apartado siguiente a través de tres estudios diferenciados:

- Análisis del potencial de las sinergias entre agricultura y bioenergía, a partir de una revisión bibliográfica de los recientes avances biotecnológicos; donde se considera un análisis costo-beneficio que identifica los principales beneficios ambientales, sociales y económicos, sujetos a un horizonte prospectivo y de escenarios múltiples, que faciliten la toma de decisiones al implementar políticas públicas, al definir a Ecuador como caso de estudio (se presenta en el capítulo 4).
- Análisis y propuesta de un marco de evaluación de las interacciones entre las estrategias circulares (como la propuesta en el capítulo 4) y los cambios en la condición de pobreza, considerando al Ecuador como caso de estudio a nivel subnacional y nacional (se presenta en el capítulo 5).
- Análisis multicriterio de los principales beneficios ambientales, sociales y económicos de las sinergias entre agricultura y bioenergía bajo condiciones de operación; en un contexto supranacional que considera a la frontera entre Ecuador y Perú como caso de estudio, a partir de las principales contribuciones de los capítulos 4 y 5 (se presenta en el capítulo 6).

3.2. Área de Estudio

Esta Tesis se realizó considerando a Ecuador y su frontera con Perú, denominada Zona de Integración Fronteriza (ZIF), como caso de estudio. En el caso de Ecuador se desarrolla el análisis de la propuesta teórica a partir de una revisión bibliográfica exhaustiva de los recientes avances en biotecnología y a partir de esta información bibliográfica se estima el potencial de las sinergias entre agricultura y bioenergía. Partiendo de este análisis, se aplica un diseño experimental para determinar los coeficientes técnicos de la propuesta teórica bajo condiciones de operación. En la ciudad de Machala, en la provincia de El

Oro, se desarrolló el diseño experimental. La Figura 11 presenta la localización geográfica de Ecuador y la ciudad de Machala.

Figura 11. Localización geográfica de Ecuador y la ciudad de Machala

Del análisis del potencial de las sinergias entre agricultura y bioenergía se identifican un conjunto de indicadores de sostenibilidad (económicos, ambientales y sociales) que permiten inferir un desarrollo sostenible en el área de influencia. En consecuencia, el análisis del potencial de las sinergias agricultura-bioenergía como una estrategia de desarrollo, se evalúa en los territorios de la frontera sur de Ecuador y, por su importancia geopolítica tanto para Ecuador y Perú, se extiende el análisis a la Zona de Integración Fronteriza (ZIF) entre ambos países.

Ecuador y Perú son dos economías que exhibieron una importante regularidad en América Latina durante la última década. Estas naciones están marcadas por una historia de 50 años de guerra que terminaron con un acuerdo de paz firmado por ambas naciones el 26 de octubre de 1998 (Binational Development Plan for the Ecuador-Peru Border Region, 1998).

El acuerdo de paz entre los dos países creó la Zona de Integración Fronteriza (ZIF) entre Ecuador y Perú (Figura 12). La ZIF Ecuador-Perú cubre 420000 km² y 5.5 millones de habitantes, de los cuales 2.3 millones se encuentran en Ecuador y los 3.2 millones restantes, corresponden a Perú. La dinámica social, económico-comercial, cultural y ambiental prevalece en esta área. La ZIF comprende ocho provincias, 71 cantones y 365 parroquias del lado ecuatoriano, mientras que cinco departamentos, 37 provincias y 134

distritos están en el lado peruano. La zona comprende tres ciudades y 11 nacionalidades (siete de estas nacionalidades son transfronterizas e indígenas). Estas naciones transfronterizas son: secoyas, kichwas, andoas, sáparas, shiwiar, shuar y achuar. Además, 11 lenguas ancestrales han sobrevivido en la región.

Figura 12. Zona de Integración Fronteriza Ecuador-Perú (ZIF)

Fuente: (Plan Binacional de Desarrollo para la Región Fronteriza Ecuador-Perú 2015)

En la ZIF, el 80% son bosques y el 0,4% son manglares. Además, el 0,27% de los manglares están ubicados en 31 áreas protegidas, 17 de ellas en Ecuador y el resto en Perú.

La ZIF comparte cinco regiones de alta biodiversidad: la Región Tumbesina, la Depresión de Huancabamba (también llamada los Andes Bajos), la Cordillera del Cóndor, la llanura amazónica y el Golfo de Guayaquil. Diez cuencas transfronterizas de los ríos están ubicadas en esta área: Napo, Pastaza, Tigre, Putumayo, Morona, Santiago, Mayo, Catamayo-Chira, Puyango y Zarumilla. Las cuencas hidrográficas se distribuyen en dos grandes vertientes, una en el Amazonas y otra en el Pacífico.

La ZIF contiene corredores y rutas turísticas, como el Spondyllus, que une todas las playas de la costa del Pacífico. Otro punto turístico es el Qhapaq Ñan (El Camino Inca). Además, otras rutas importantes en la zona son las rutas acuáticas, las rutas de la

biodiversidad, las rutas ecoturísticas, las rutas del bioturismo, las rutas científicas, las rutas culturales, las rutas gastronómicas y el turismo de aventura. Los productos más importantes, cuyas cadenas de valor tienen relevancia significativa en la economía de la región, son el café, el cacao, el maíz, los productos maderables y no madereros y las especies de acuicultura nativas de la Amazonia. Esta región cuenta con cinco ejes viales binacionales, además de rutas marítimas, fluviales, aéreas, ferroviarias e infraestructura de servicios fronterizos.

3.3. Metodología de análisis del potencial de sinergias agricultura-bioenergía

Para determinar el potencial de las sinergias entre agricultura y bioenergía se ha planteado un esquema que maximice el bienestar del conjunto de iniciativas. Dicho conjunto, al que denominamos sistema, tiene como eje fundamental la producción de biodiesel como respuesta a la política de incentivo al cultivo, extracción y producción de biocombustibles de primera, segunda y/o tercera generación, que fue implementada por el gobierno ecuatoriano en septiembre del 2012 mediante el decreto ejecutivo Nro. 1303.

Se han considerado tres alternativas para implementar la propuesta de cumplir con el 5% del biodiesel en el Ecuador para su posterior mezcla con el diésel regular. Para realizar el análisis comparativo de tales alternativas, se consideraron tres iniciativas como posibles fuentes de biomasa para la producción de biodiesel; la primera alternativa es la producción de biomasa considerando el cultivo de palma africana; ello debido al importante número de hectáreas que han sido destinadas a ese cultivo en el Ecuador. La segunda y tercera alternativas como fuentes de biomasa para la producción de biodiesel derivan del cultivo de microalgas, diferenciándose por el proceso productivo empleado:

- La producción de microalgas en estanques abiertos, estudiado ampliamente por Benemann & Oswald, (1996) en su proceso técnico y cuantificado en términos monetarios y eficiencia por Kovacevic & Wesseler, (2010).
- Prototipo de producción de microalgas en un fotobiorreactor laminar “vertical” patentado por Jesús Fernández (España Patente nº WO 2001/138477 A1, 2011), el mismo que se encuentra desde su diseño funcionando en el campus de la Escuela Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid. El estudio de sus variantes en rendimientos ante distintas condiciones y variedad de

microalgas, han permitido determinar su costo de implementación (Durán Altisent, 2013) así como la incorporación de mejoras respecto a sus características originales (Fernández González J. , 2013).

Para cada una de las alternativas, luego de realizar una revisión bibliográfica, se estimará una cuantificación monetaria de la producción de la biomasa, el proceso de extracción de la biomasa y el aceite en bruto, para finalmente realizar el proceso de transesterificación que dará como resultado el biodiesel listo para ser mezclado.

Una vez establecida la cuantificación monetaria para cada alternativa, se realizará una comparación entre cada una de las alternativas utilizando el análisis costo-beneficio a través del criterio del Valor Actual Neto (VAN) y el ratio costo-beneficio, mediante un modelo matemático de optimización del cultivo, considerando para ello el número de hectáreas necesarias para cumplir con las restricciones de superficie por tipo de cultivo, la satisfacción de la demanda interna de biodiesel y la restricción del capital expresada como la disposición de fuentes gubernamentales de financiamiento. Para la elaboración y resolución se utilizarán como herramientas informáticas el lenguaje de programación matemática General Algebraic Modeling System (GAMS) y la herramienta SOLVER del utilitario Excel del paquete informático Microsoft Office.

El análisis de las sinergias agrícolas bioenergéticas se realizará comparando el escenario sin intervención que resulta de la suma de la cuantificación individual de cada alternativa y el escenario con la cuantificación del sistema propuesto:

- La cuantificación de las emisiones equiv. de CO₂ por parte de las explotaciones ganaderas;
- El potencial de conversión de los residuos orgánicos urbanos y residuos orgánicos agrícolas en biogás para generación eléctrica;
- Las emisiones de CO₂ por la quema de biogás para la generación eléctrica;
- Las tres etapas productivas (producción de biomasa, extracción de lípidos y transesterificación) para obtener biodiesel;
- La cuantificación de las toneladas de sustrato de origen vegetal que podrá ser incorporado al mercado para ser utilizado como pienso por el sector ganadero;

Esta visión del conjunto de iniciativas permitirá tener más información acerca del monto de inversión que requerirá el sector de biocombustibles para su desarrollo y cómo le

afectan los programas de financiamiento gubernamental, convirtiéndose en una herramienta de análisis para los organismos encargados de formular, ejecutar y evaluar las políticas, programas y/o proyectos en el Ecuador.

3.3.1. Las emisiones equiv. de CO₂ y el tratamiento agrícola

El primer componente del sistema propuesto para maximizar las sinergias entre agricultura y bioenergía hace referencia al tratamiento agrícola. Abarca los desechos orgánicos de las explotaciones agropecuarias, los cuales se componen de los residuos de las cosechas, en el caso de los cultivos, y del estiércol y purines por parte de las explotaciones pecuarias.

La propuesta plantea combinar residuos agropecuarios y residuos orgánicos urbanos con el fin de generar biogás y, posteriormente, energía eléctrica. Adicional al beneficio económico por la venta de energía, se analiza el potencial beneficio ambiental por mitigación de GEI expresado en Ton equiv. CO₂; por ello, en esta sección, se definen las características y proporción estimada de residuos que serán usados, el método de producción más apropiado y la cantidad de Ton equiv. CO₂ que se dejarían de emitir, dado que se someten a un tratamiento agrícola.

3.3.2. Características, proporción estimada de residuos y tratamiento de residuos

Según el documento de la OPSyOMS, (2002) donde realizan el análisis sectorial de los residuos sólidos en el Ecuador, se determinó que la cantidad de generación diaria de residuos sólidos era de 7423 ton, es decir unas 2.71 millones de ton por año. Ghosh, Vieitez, Liu, & Kato, (1997) indican que la descomposición incontrolada de los residuos sólidos orgánicos podría dar lugar a una gran contaminación del suelo, agua y aire, teniendo en cuenta que una tonelada métrica de residuos sólidos orgánicos potencialmente puede liberar entre 50 – 110 m³ de dióxido de carbono y entre 90 – 140 m³ de metano a la atmosfera.

Los residuos agrícolas, incluido el estiércol animal, es otra fuente de residuos sólidos. Como referente se considera el caso de Estados Unidos donde la cantidad de estiércol producido es 130 veces mayor que la cantidad de desechos humanos (US Senate Committe on Agriculture Nutrition and Forestry, 1997; Macias-Corral, y otros, 2008).

Ante este escenario adverso se plantea el uso eficiente de los recursos locales; tal es el caso de convertir los residuos sólidos orgánicos en energía a través de la digestión anaerobia, reduciendo el perjudicial impacto sobre el medio ambiente. La co-digestión de residuos sólidos urbanos y agropecuarios puede utilizar los nutrientes y la diversidad de bacterias en los distintos residuos para optimizar el proceso de digestión; tal es el caso del trabajo de Macias-Corral, y otros, (2008) justificado por experimentos a escala de laboratorio que realizaron (Hartmann & Ahring, 2005) en un reactor termofílico de mezcla completa para la co-digestión de la Fuente Orgánica de Residuos Municipales (FORM) y estiércol de vaca, mostrando una mayor producción de biogás y un proceso más estable.

El trabajo de Macias-Corral, y otros, (2008) demuestra la aplicación de un sistema de digestión anaeróbica de dos fases, donde se evaluó la co-digestión de diversos residuos agrícolas y residuos sólidos municipales orgánicos. La digestión de los residuos individuales (FORM y estiércol de vaca) fueron investigados en experimentos separados para evaluar el efecto de co-digestión.

Dentro de las principales conclusiones del trabajo de Macias-Corral, y otros, (2008) que son de aporte para el presente trabajo, al permitir establecer las características de los residuos a tratar y el método que se aplicará para la conversión de los residuos sólidos a energía, destacan las siguientes:

- El uso de un reactor para realizar la digestión anaeróbica de dos fases para cada una de las muestras sometidas al experimento, presentaron un porcentaje promedio en contenido de metano CH₄ mayor al 70%.
- La mezcla del 90% de FORM equivalentes a los ROU y del 10% de estiércol de vaca equivalente a los ROA presentó la mayor producción de biogás con un rendimiento de 172 m³ CH₄/ton de basura seca.
- La mezcla del 90% de FORM equivalentes a los ROU y del 10% de estiércol de vaca equivalente a los ROA al cabo de los 141 días, experimentó una reducción de peso del 78,3% y una reducción en su volumen por el orden del 98% mostrando ser la mezcla de co-digestión más eficiente.

3.3.3. Estimación de la cantidad de ton equiv. CO₂ de los residuos sólidos

Justificación de la propuesta planteada, es el potencial beneficio ambiental que surge de realizar el tratamiento de ROU y ROA, por lo que cuantificar la cantidad de emisiones que se generan actualmente sin aplicar ningún procedimiento ambiental es de mucha importancia.

En este trabajo se abordará la cuantificación de las emisiones de GEI ocasionadas por el manejo del estiércol en las explotaciones agropecuarias en el Ecuador. La cuantificación de las emisiones de GEI generadas por los residuos orgánicos urbanos no se realiza debido a la limitación en la información estadística nacional referente a la generación de residuos sólidos en el país.

Para la cuantificación de las emisiones de GEI se aplicará la metodología detallada en el trabajo de la EPA, (2013), en la que tomando la información estadística del país referente a la agricultura por parte del INEC I. N., (2008) se estableció una serie de datos desde el año 2004 hasta el año 2011, en la que detallan las existencias ganaderas y su evolución.

Esta serie de datos se proyecta hasta el 2025 considerando una tasa anual equivalente del comportamiento de dichas existencias, ya que al intentar ajustar dichas series con herramientas estadísticas tales como el @RISK, las aproximaciones resultaban de muy mala calidad y diferían entre si al variar el criterio estadístico para la aproximación (Chi-cuadrado, Anderson-Darling, Kolmogorov-Smirnov), por lo que se decidió aplicar la tasa anual equivalente durante el período para cada uno de los ítems y obtener una aproximación hacia el año 2025.

Como punto inicial para la estimación de las emisiones GEI a la población ganadera del Ecuador, esta fue reclasificada en cinco categorías siguiendo la clasificación sugerida por Cuéllar & Webber, (2008) y EPA, (2013): Ganado de engorde, Vacas de leche, Otra carne y ganado lechero, Cerdo y Aves de corral. La reclasificación consistió en transformar las unidades físicas de ganado en unidades de animales considerando cada una con un peso de 1000kg por tipo de ganado; para ello se utilizaron unos factores de conversión de unidades dadas por Kellogg, Lander, Moffitt, & Gollehon, (2000) y mencionadas en el trabajo de Cuéllar & Webber, (2008).

La Figura 13 presenta los resultados de la reclasificación y conversión de las unidades de animales existentes y las proyectadas, expresadas en millones de unidades al 2025. Destacan las cantidades de unidades de ganado de engorde y vacas de leche, seguidas por un importante incremento en las unidades de ganado porcino y que llegará a consolidarse en el mediano y largo plazo; dicho aumento se explica por el incremento de inversiones en esta actividad gracias al creciente consumo y los precios de la carne de cerdo.

Una vez determinado el número de unidades de animales se procede a estimar la cantidad de estiércol excretado por tipo de ganado, utilizando la metodología aplicada por la EPA, (2013) y IPCC, (2006). Se consideró que durante el manejo del estiércol de ganado existen dos GEI que son la principal fuente de emisiones: el CH₄ y el óxido de nitrógeno (N₂O). Existen emisiones de CH₄ por parte del ganado que son distintas al manejo de estiércol y corresponden a las emisiones del ganado durante el proceso conocido como fermentación entérica, la cual constituye otra importante fuente de emisión; no obstante, para efectos del presente trabajo, el cálculo de las emisiones de CH₄ y N₂O se realizará únicamente en el proceso del manejo del estiércol.

Figura 13. Unidades de animales (1000Kg-peso) existentes al 2011 y proyectadas al 2025 en el Ecuador

Fuente: (INEC I. N., 2008)

Para el cálculo de las emisiones de CH₄ y N₂O se requiere estimar el volumen excretado de estiércol por tipo de ganado utilizando la siguiente fórmula:

$$VS_{excretado_{animal,WMS}} = Población_{animal} \times VS \times WMS \quad (1)$$

Donde la población animal representa el número de unidades animales por cada 1000Kg de peso; VS hace referencia al volumen excretado por tipo de animal en un año expresado en Kg; WMS indica el tipo de sistema de manejo de estiércol según la explotación agropecuaria durante su proceso de producción y viene expresado en porcentaje.

La fórmula (1) calcula el volumen excretado por el ganado bobino, más para realizar el cálculo del volumen excretado para el resto de los animales se plantea la fórmula siguiente:

$$VS_{excretado_{animal,WMS}} = Población_{animal} \times VS \times WMS \times 365.25 \quad (2)$$

Donde la población animal representa el número de unidades animales por cada 1000Kg de peso; VS hace referencia al volumen excretado por tipo de animal por día expresado en Kg; WMS indica el tipo de sistema de manejo de estiércol según la explotación agropecuaria durante su proceso de producción y viene dado en porcentaje; el factor de 365.25 se aplica para anualizar VS que viene dado en Kg al día y el factor lo corrige a Kg por año.

Una vez calculado el volumen excretado expresado en millones de Kg por año para cada tipo de animal, se procede a estimar la cantidad de CH₄ emitida a la atmósfera durante el manejo del estiércol de ganado. Dicha cantidad se expresará en Giga gramos (Gg); para ello se aplica la siguiente fórmula de cálculo:

$$CH_4 = \sum_{animal,WMS} (VS_{excretado_{animal,WMS}} \times B_0 \times MCF \times 0.662) \quad (3)$$

Donde B_0 representa la cantidad de m^3 de CH₄ por Kg de estiércol excretado por tipo de animal; el factor de conversión en metano por tipo de sistema de manejo de estiércol viene dado por MCF y el factor 0.662 corresponde a la densidad del metano a una temperatura de 25°C (Kg CH₄ / m^3 CH₄).

Al estar expresada en Gg la cantidad de CH₄ es necesario convertirla en Tg equiv. CO₂ que también podrán ser expresadas como millones de ton equiv. CO₂; para lograr dicha conversión se aplica la fórmula:

$$Tg_{equiv.CO2} = \frac{(Gg_{CH4} \times PCG)}{1000} \quad (4)$$

Donde PCG hace referencia al potencial de calentamiento global que tiene el CH₄, lo que permite realizar la conversión a Tg equiv. CO₂.

Para la estimación de las emisiones de N₂O hay que considerar que existen dos tipos de emisiones, las directas e indirecta; para el cálculo de estas es necesario estimar la cantidad de Nitrógeno (N) excretado por tipo de animal utilizando la fórmula siguiente:

$$N \text{ excretado}_{animal,WMS} = Población_{animal} \times WMS \times Nex \quad (5)$$

Donde la población animal representa el número de unidades animales por cada 1000Kg de peso; WMS indica el tipo de sistema de manejo de estiércol según la explotación agropecuaria durante su proceso de producción y viene expresado en porcentaje; Nex hace referencia al volumen excretado de N por tipo de animal en un año expresado en Kg.

La fórmula (5) calcula el volumen de N excretado por el ganado bobino más para realizar el cálculo del volumen de N excretado para el resto de los animales se plantea la fórmula siguiente:

$$N \text{ excretado}_{animal,WMS} = Población_{animal} \times WMS \times Nex \times 365.25 \quad (6)$$

Donde la población animal representa el número de unidades animales por cada 1000Kg de peso; WMS indica el tipo de sistema de manejo de estiércol según la explotación agropecuaria durante su proceso de producción y viene expresado en porcentaje; Nex hace referencia al volumen excretado de N por tipo de animal en un día expresado en Kg; el factor de 365.25 se aplica para anualizar Nex que viene dado en Kg al día y el factor lo corrige a Kg por año.

Con la cantidad de N excretado por tipo de animal se procede a calcular las emisiones directas de N₂O que van a ser expresadas en Gg, para ello se utiliza la fórmula:

$$N2O \text{ Directo} = \sum_{animal,WMS} (N \text{ excretado}_{animal,WMS} \times EF_{WMS} \times \frac{44}{28}) \quad (7)$$

Donde EF_{WMS} hace referencia al factor de emisiones directas de N₂O por tipo de sistema de manejo de estiércol según los lineamientos del IPCC y viene dado por la relación (Kg N₂O-N / Kg N); La constante 44/28 hace referencia al factor de conversión del N₂O-N a N₂O.

Adicional a las emisiones directas de N₂O también existen emisiones indirectas que deben considerarse por lo que para su cuantificación se aplica la siguiente fórmula:

$$N2O \text{ Indirecto} = \sum_{animal,WMS} \left(\left[N \text{ excretado}_{animal,WMS} \times \frac{Frac_{gas,WMS}}{100} \times EF_{volatilización} \times \frac{44}{28} \right] + \left[N \text{ excretado}_{animal,WMS} \times \frac{Frac_{lixiviados,WMS}}{100} \times EF_{lixiviados} \times \frac{44}{28} \right] \right) \quad (8)$$

Donde $Frac_{gas,WMS}$ indica el N que se pierde en la volatilización por cada WMS; $EF_{volatilización}$ indica el factor de emisión para la volatilización (0.010 Kg N₂O / Kg N); $Frac_{lixiviados,WMS}$ indica el N que se pierde por escurrimiento y lixiviación por cada WMS; $EF_{lixiviados}$ indica el factor de emisión para el escurrimiento y lixiviación (0.0075Kg N₂O-N / Kg N); La constante 44/28 hace referencia al factor de conversión del N₂O-N a N₂O.

Una vez que se han cuantificado las emisiones directas e indirectas de N₂O generadas por el manejo del estiércol en el Ecuador, expresadas en Gg de N₂O, se deben transformar a Tg equiv CO₂ o millones de ton equiv de CO₂ utilizando la fórmula siguiente:

$$Tg\ equiv. CO_2 = \frac{(Gg\ N_2O \times PCG)}{1000} \quad (9)$$

Donde PCG hace referencia al potencial de calentamiento global que tiene el N₂O, lo que permite realizar la conversión a Tg equiv. CO₂.

Una vez realizada la cuantificación de las emisiones equiv. CO₂, es posible cuantificar los “Ingresos Potenciales” como incentivo ambiental, los cuales resultan de multiplicar las toneladas equiv. CO₂ totales por el precio de los Certificados de Emisiones Reducidas (CER) que en el 2013 se han fijado por el orden de los 7 €/ton CO₂.

Para el caso del Ecuador, considerando que dentro del mercado de créditos de carbono es posible realizar inversiones en países en desarrollo, que sean canjeables en CER hasta un máximo del 6% de la cuota total de emisiones del país o bloque de países, España se convierte en un potencial socio estratégico para atraer posibles inversiones en el sector bioenergético, al formar parte ese país del régimen comunitario de derechos de emisión con objetivos de mitigación de más 2000 millones de ton de CO₂ con empresas requiriendo CER. Por ello, cuantificar en términos monetarios las emisiones del sector ganadero permite evidenciar el potencial de la propuesta teórica planteada.

3.3.4. Potencial de generación eléctrica y emisiones de CO₂ como subproducto

El potencial de generación eléctrica será determinado según la metodología aplicada en el trabajo de Cuéllar & Webber, (2008), teniendo en cuenta que el objetivo de su análisis fue realizar una evaluación de alto nivel sobre la posibilidad de convertir el estiércol en biogás como un enfoque para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero en los

Estados Unidos, y que la política, normativa técnica, transporte o barreras económicas en su enfoque no fueron considerados.

En el presente trabajo, la cuantificación del potencial de conversión del biogás en energía y las emisiones generadas durante el proceso, constituyen un componente dentro del sistema propuesto; por ello, el complemento de los cálculos realizados estará plasmado en la incorporación de series monetarias referentes al potencial económico de mitigar estas emisiones a través de la propuesta, generando CER atractivos que potencialicen la inversión en el sector bioenergético.

3.3.5. Conversión de estiércol en energía eléctrica

Para establecer que cantidad de energía puede ser generada por el estiércol de ganado en el Ecuador, es necesario reclasificar y convertir las existencias del ganado en unidades animales equivalente de 1000 kg de peso. Con el número de animales por tipo de ganado, expresado en millones de unidades animales, es necesario estimar el potencial energético del estiércol de ganado $E_{biogás}[BTU]$ expresado en Billones de BTU por año, por lo que será necesario aplicar la siguiente fórmula:

$$E_{biogás}[BTU] = Población_{animal} \times FEB_{animal} \times 365.25 \quad (10)$$

Donde FEB_{animal} indica el factor energético bruto sin convertir en biogás por tipo de animal expresado en miles de BTU/animal por día según estudio de Chastain, Linvill, & Wolak, (1999); el factor 365.25 hace referencia al ajuste del FEB expresado en días, a un resultado anual.

Con los datos del potencial energético bruto sin convertir en biogás podemos determinar la electricidad a partir de biogás teniendo en cuenta que este dependerá de la eficiencia del generador en la conversión de biogás a electricidad.

La energía de biogás puede ser convertida en electricidad con una eficiencia típica de 34-40% para turbinas grandes y con una eficiencia del 25% para los generadores más pequeños (Nielsen, Nielsen, & Frederiksen, 2004; Tafdrup, 1995; Cuéllar & Webber, 2008).

Para determinar el potencial eléctrico a partir de biogás $e_{biogás}[kWh]$ en el Ecuador, se considerará al igual que en el trabajo de Cuéllar & Webber, (2008) un rango de eficiencia (η) entre 25% y 40% para lo que aplicaremos la siguiente fórmula:

$$e_{biogás}[kWh] = E_{biogás} \times 0.000293 \left[\frac{kWh}{BTU} \right] \times \eta \quad (11)$$

Donde el coeficiente 0.000293 permite transformar las unidades BTU en kWh, el resultado del cálculo vendrá dado en millones de kWh al año de generación eléctrica a partir de biogás.

3.3.6. Emisiones de CO₂

Los beneficios ambientales globales de la utilización del biogás son por lo general más altos cuando el biogás se utiliza como sustitución combustible para vehículos de gasolina o diésel, debiéndose esto a las importantes reducciones adicionales en las emisiones de otros contaminantes atmosféricos tales como hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, partículas, etc. Pero cuando el biogás está reemplazando el fuel oil o gas natural en la producción a gran escala de calor y energía eléctrica, las reducciones en estos contaminantes son más pequeños o insignificantes (Börjesson & Berglund, 2007; Sundberg, Johansson, & Hjortsberg, 1997; Lantz, Svensson, Björnsson, & Börjesson, 2007).

Por ello, adicional a la cuantificación del potencial energético del biogás a partir de estiércol de ganado, es de importancia cuantificar la cantidad de CO₂ emitido durante el proceso de combustión del biogás en la generación eléctrica; para ello, considerando el método aplicado en el estudio Cuéllar & Webber, (2008) donde cuantifica las emisiones de CO₂ por la combustión del biogás, se aplicará la formula siguiente:

$$kg_{CO_2total} = 1m^3_{biogas} (X\%CH_4 \times \rho_{CH_4} \times 2.75 + \rho_{CO_2}(1 - X\%CH_4)) \quad (12)$$

Donde kg_{CO_2total} muestra las emisiones de dióxido de carbono totales procedentes de la combustión de un metro cúbico de biogás y es la suma del contenido de dióxido de carbono en el biogás y la cantidad de dióxido de carbono resultante de la combustión de metano; $X\%CH_4$ indica el porcentaje de CH₄ en un metro cúbico de biogás; ρ_{CH_4} es la densidad del metano bajo condiciones normales; 2.75 es la constante que indica que por la combustión de 1kg de metano puro se generan 2.75kg de CO₂; ρ_{CO_2} es la densidad del CO₂ bajo condiciones normales y multiplica al factor que indicaría el % de CO₂ dentro de ese metro cúbico de biogás.

Una vez conocida la cantidad de CO₂ emitido por la combustión de un metro cúbico de biogás, es necesario determinar qué cantidad de kg de CO₂ se emite por cada kWh de

energía eléctrica generado durante su combustión; para ello se realizarán los cálculos de siguiente fórmula:

$$Z_{CO_2} = \frac{1m_{biogas}^3(X\%CH_4 \times \rho_{CH_4} \times 2.75 + \rho_{CO_2}(1-X\%CH_4))}{E_{\%CH_4}\eta} \quad (13)$$

El numerador de esta fórmula hace referencia a kg_{CO_2total} calculado al aplicar la formula (12); el denominador hace referencia al contenido energético según el porcentaje de CH_4 en el biogás, multiplicado por el factor de eficiencia.

Al haber estimado la cantidad de Kg de CO_2 emitidos por cada kWh generado por combustión de biogás se puede calcular la cantidad de ton de CO_2 emitidas por la potencial generación eléctrica con un contenido de CH_4 del 60% y $\eta=25\%$ y la cantidad de ton de CO_2 emitidas por la potencial generación eléctrica con un contenido de CH_4 del 70% y $\eta=40\%$ multiplicando Z_{CO_2} que es la cantidad de CO_2 emitido por kWh generado, por $e_{biogas}[kWh]$ que es la cantidad de kWh generados a partir del biogás del estiércol de ganado.

3.3.7. Alternativas de cultivos energéticos

Como parte de la propuesta planteada en la Figura 9 y luego de identificar los potenciales de contaminación de los ROA, así como el potencial energético expresado en kWh del biogás generado a partir del tratamiento de los ROA y la cantidad de CO_2 generado a partir de la combustión de del biogás durante el proceso de su conversión a energía, es necesario identificar que cultivo energético permitirá obtener el mayor VAN y la mejor relación costo-beneficio público y privado del sector bioenergético en su conjunto, considerando para ello las tres grandes etapas en la producción de biodiesel: producción de biomasa, extracción de lípidos de la biomasa y transesterificación de los lípidos para convertirlos en biodiesel.

El valor actual neto, también conocido como valor actualizado neto (en inglés *net present value*), cuyo acrónimo es VAN (en inglés, NPV), es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los *flujos de caja* futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto

del proyecto (Brealey, Allen, Myers, Izquierdo, & Soria, 2006). Para calcular el VAN es necesario aplicar la fórmula siguiente:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad (14)$$

Donde:

V_t : representa los flujos de caja en cada período t . Para este trabajo se identificaron los ingresos y egresos, para cada tipo de cultivo energético, expresados en dólares por hectárea (\$/ha). Se consideran los egresos operativos por cada etapa del proceso de producción del biocombustible considerando una variación anual equivalente al IPC del Ecuador. Para aquellos valores expresados en euros (€) se procedió a realizarla conversión a dólares considerando un tipo de cambio promedio anual (BCE B. C., Banco Central del Ecuador, 2013) en el año base de la información de costos. Los ingresos son el producto del rendimiento en litros de biocombustible por hectárea (Lt/ha) por el precio mundial del litro de biodiesel para cada período t y por el número de hectáreas cultivadas (ha). Se considera que los flujos de caja serán el resultado de:

- La diferencia entre los ingresos menos los egresos totales para cada período t menos la depreciación el año t conocido como beneficio antes de impuestos.
- Se calcula el 25% que es la tasa impositiva correspondiente al impuesto a la renta en el Ecuador y se restan del beneficio antes de impuestos para obtener el beneficio del ejercicio en el período t .
- El flujo de caja resultará de la suma del beneficio del ejercicio en el período t y la depreciación del período t justificado en que la depreciación no constituye una salida efectiva de dinero, por lo tanto, debe ser considerado como parte del flujo de caja.

I_0 : indica el valor del desembolso inicial de la inversión, el cálculo vendrá dado por los costos de capital para cada etapa del proceso de producción de biodiesel expresados en dólares por hectárea y multiplicados por el número de hectáreas en el período t_0 que para los estudios diferenciados en esta Tesis se consideraron los años 2014 y 2016.

La depreciación estará dada por la división de la inversión inicial en el período t_0 sobre el número de periodos pendientes hasta el horizonte de la inversión cuanto $t=n$, que para los estudios diferenciados en este trabajo se ha fijado en el año 2025 y 2028 respectivamente.

n : es el número de periodos considerados que para efectos de análisis estará en un rango de entre 11 y 12 años correspondientes al período comprendido entre el año de las inversiones y el año donde confluyen los escenarios de planificación establecidos en los documentos gubernamentales en el Ecuador (SENPLADES, 2009) y la ZIF (Binational Development Plan for the Ecuador-Peru Border Region, 2015).

k : indica la tasa de interés o tasa de descuento a la que se actualizarán los flujos de caja; para ello se realizará un análisis bajo dos tipos de interés, en primera instancia se aplicará la última tasa pasiva referencial según BCE B. C., Banco Central del Ecuador, (2013) que corresponde al 6.48% y como segundo tipo se utilizará la tasa activa efectiva en el sector financiero del Ecuador, correspondiente al grupo productivo corporativo (BCE B. C., Banco Central del Ecuador, 2013) que corresponde al 8.84%.

El análisis de costo-beneficio es una técnica importante dentro del ámbito de la teoría de la decisión donde se pretende determinar la conveniencia de proyecto mediante la enumeración y valoración posterior en términos monetarios de todos los costos y beneficios derivados directa e indirectamente de dicho proyecto. Este método se aplica a obras sociales, proyectos colectivos o individuales, empresas privadas, planes de negocios, etc., prestando atención a la importancia y cuantificación de sus consecuencias sociales y/o económicas (Brealey et al., 2006). Para estimar la relación coste beneficio se aplicará la siguiente fórmula:

$$Relación_{costo-beneficio} = \frac{Beneficios\ totales}{Costos\ totales} \quad (15)$$

Donde los beneficios totales directos e indirectos serán anualizados y descontados durante el horizonte de tiempo del análisis al igual que los costes totales. Con el objetivo de tener una visión de los resultados privados y públicos del sector, se considerarán como costos públicos a la inversión gubernamental en incentivos crediticios para el desarrollo del sector, como ingresos públicos se considerará el retorno de los impuestos recaudados por parte del gobierno del sector bioenergético durante el período de análisis. En los siguientes apartados del presente trabajo se realizan los cálculos del VAN y relación costo-beneficio para cada una de las posibles alternativas de cultivo con fines energéticos. En todos los casos se considerará la siguiente función objetivo con sus tres restricciones:

- Función Objetivo: Maximizar el VAN de la producción de biodiesel con horizonte 2015.

- Restricción de superficie: haciendo referencia a que la superficie del cultivo energético debe ser menor o igual al número de hectáreas disponibles en el Ecuador.
- Restricción de demanda de biodiesel: corresponde a la cantidad de litros demandados en el Ecuador por cada período, la cual debe ser cubierta por el cultivo.
- Restricción de capital: se considera que la cantidad de recursos se limita a un nivel de financiamiento gubernamental.

Para cada una de las alternativas de cultivos energéticos, integrándolos al conjunto del sector durante el proceso de producción de biodiesel, se consideran tres etapas:

- Producción de Biomasa: Considera el rendimiento expresado en toneladas por cada cultivo (rendimientos propios del proceso productivo de la biomasa). Se establecen costos aproximados en dólares por hectárea para los costos de capital, así como los costos operativos propios del cultivo, el procedimiento agronómico del cultivo no será profundizado en este trabajo.
- Extracción de Lípidos: Establece los costos de capital y operativos relativos al proceso de extraer el contenido de aceite (lípidos) de la biomasa una vez que se ha cosechado. Existen distintos tratamientos y costos para cada tipo de biomasa, los cuales han sido tomados de publicaciones científicas, permitiendo establecer un mayor nivel de confianza en los resultados de los cálculos realizados; rendimiento, y costos se expresan en función de cada hectárea. El procedimiento técnico del proceso de extracción será descrito brevemente o referido a fuentes de consulta de mayor detalle al no ser el objeto de estudio una descripción técnica.
- Transesterificación y obtención del biodiesel: Indica los costos de capital y operativos, expresados en dólares por hectárea, necesarios para transformar el aceite de la biomasa en biodiesel. Los subproductos que se generan durante el proceso son considerados dentro de los otros ingresos para el cálculo del flujo de caja por período y por alternativa de cultivo.

Como parte de los datos comunes para la cuantificación del VAN y el cálculo de la relación costo-beneficio para cada alternativa de cultivo, se consideran tres posibles alternativas de precios para el biocombustible en el Ecuador, tal y como se presentó en la Figura 8, en la cual se incluye la demanda interna de combustibles.

3.3.8. Biodiesel a partir de Palma Africana

La información considerada para obtener los costos de capital y operativos del cultivo para obtener la biomasa fueron tomados de la guía técnica del IICA, (2006).

Los datos referentes a los costos de capital y costos operativos para los procesos de extracción de lípidos y transesterificación se tomaron del trabajo de Kovacevic & Wesseler, (2010) donde aborda un análisis coste eficacia para los cultivos de microalgas cultivados en estanques abiertos y el cultivo de colza.

Para efectos de este trabajo, los datos referentes a los procesos de extracción de lípidos y transesterificación aplicados a la colza son equiparables al tratarse de procesos similares (triturado para colza y prensado para palma) por lo que se han tomado los valores referenciales al año 2008 como consta en el estudio, y para la proyección de los costes al 2025 se consideran las variaciones en el índice de precios al consumidor (IPC) del Ecuador según el INEC I. N., (2013).

Adicional a los costos de capital y costos operativos para la producción de biodiesel a partir de palma africana, en el presente estudio se han considerado los ingresos por concepto de subproductos para cada alternativa de cultivo energético, así como los rendimientos esperados en toneladas por hectárea durante cada etapa del proceso de producción del biodiesel. Para el análisis del potencial de producción de biodiesel a partir de palma africana se realizó el cálculo del VAN y la relación costo-beneficio para cuatro posibles escenarios en los que se tomaron las siguientes consideraciones:

- El período de I_0 será el año 2014. Considerando el principio de la matemática financiera para el cálculo del VAN, las inversiones se realizan al inicio del año y la producción e ingresos al final del año, por lo que el primer año de producción se considerará a precios y costos del año 2014.
- El período de crecimiento del cultivo hasta el inicio de la primera cosecha será de 4 años por lo que el primer año productivo será el 2018.
- Se asume una única inversión dada en el año 2014 por lo que el número de hectáreas que se programen en este año debe considerar la demanda de biodiesel (5% y 10%) para todo el período de análisis; es decir, considerar la proyección de la demanda al 2025.

3.4. Metodología de análisis del sistema de agricultura circular incorporando el diseño experimental

En este apartado se describe el proceso metodológico realizado para identificar los coeficientes técnicos del sistema circular propuesto bajo condiciones de operación en Ecuador. Los coeficientes técnicos se identifican al implementar un prototipo para la producción de biogás y otro para la producción de biomasa de microalgas. La fase experimental se realizó en la ciudad de Machala como referente de la ZIF Ecuador-Perú en el lado de Ecuador.

3.4.1. Muestreo, emisiones equivalentes de CO₂ y conversión eléctrica del biogás

Para la identificación y caracterización de la disponibilidad de residuos biodegradables se aplicó un muestreo estratificado por conglomerados con una muestra de 940 bolsas de residuos sólidos municipales (MSW). Los estratos corresponden a seis zonas que responden a la distribución censal de la ciudad. La recolección del número de bolsas de MSW, fue proporcional al número de domicilios dentro de cada zona, y la selección del domicilio en cada zona fue a través de un muestreo sistemático cada cinco domicilios.

Figura 14. Plano y distribución de zonas en la ciudad de Machala

La cuantificación de la disponibilidad del estiércol (CM) se estimó mediante la aplicación de la metodología de la EPA, (2013) a partir del inventario ganadero y utilizando la Fórmula 1. Las emisiones equivalentes de CO₂ que se dejan de emitir por el manejo del estiércol del ganado bobino son expresadas en teragramos (Tg) equivalentes de CO₂ y se cuantifican aplicando la metodología de la EPA, (2013).

Las estimaciones de las emisiones potenciales de CO₂, como consecuencia de la combustión del biogás en la generación eléctrica, se realizan utilizando el estudio de Cuéllar & Webber, (2008), donde se determinan: el potencial energético del estiércol de ganado $E_{biogás}[BTU]$ expresado en Billones de BTU por año, el potencial eléctrico a partir de biogás $e_{biogás}[kWh]$, las emisiones de dióxido de carbono total por la combustión de un metro cúbico de biogás kg_{CO_2total} y la cantidad de kg de CO₂ emitido por cada kWh de energía eléctrica generado durante su combustión.

3.4.2. Sistema experimental

En una primera etapa se inocularon 3 reactores (2 réplicas) de 20 L de capacidad (bidones) con diferentes mezclas de desechos biodegradables; a todos se les agregó estiércol de ganado vacuno y 2 L de agua de grifo, con un total de 4 Kg de biomasa húmeda (Tabla 5). Los reactores se encontraban acoplados herméticamente a un filtro de biogás que contenía reactivos sólidos compuestos por ZnO, MgO, CuO, y Ca(OH)₂. Estos reactivos fueron utilizados para la retención de los constituyentes no deseados del biogás como son: H₂S y NH₃. El biogás que atravesaba el filtro estaba constituido principalmente por CO₂ y CH₄, que son gases de efecto invernadero, a los cuales necesitábamos conocer su concentración en el biogás generado para así cumplir los objetivos de la investigación. Este biogás fue almacenado en una bolsa de polipropileno para su posterior análisis por cromatografía de gases. El tiempo total de experimentación de la primera etapa fue de 12 días.

Tabla 5. Condiciones experimentales para la primera fase de investigación

Reactor 1A	Reactor 1B	Reactor 1C
0.5 Kg cáscara de papa +	0.5 Kg perejil +	0.5 Kg cáscara de haba +
0.5 Kg cáscara de zanahoria	0.5 Kg cebolla blanca	0.5 Kg cáscara de frejol
1.0 Kg estiércol de vaca	1.0 Kg estiércol de vaca	1.0 Kg estiércol de vaca
2.0 L de agua	2.0 L de agua	2.0 L de agua

Para la segunda fase de la investigación y siguiendo el estudio de Macias-Corral et al., (2008), se utilizó un digestor de 1.5 toneladas de capacidad con las características técnicas y operativas requeridas para realizar una digestión anaerobia en dos fases. El volumen de producción del biogás y el contenido de CH₄/m³ se midieron regularmente. El tiempo de retención de esta fase fue de 50 días, utilizando la composición de biomasa mostrada en la Tabla 6.

Tabla 6. Condiciones experimentales para la segunda fase de investigación

Fase 1 (sólida)	Fase 2 (líquida)
167.0 Kg cáscara de haba +	120 L lixiviado de vertedero
133.0 Kg cáscara de frejol	3.0 Kg biopelículas –
100.0 Kg estiércol de vaca	material inerte
600.0 L de agua	

3.4.3. Análisis cromatográfico de CO₂ y CH₄

El análisis del biogás se realizó en un cromatógrafo de gases Fuli Gas Chromatograph 9790 II, el cual está equipado con detector de ionización de llama (FID) y una columna capilar (Supel-Q PLOT 30 m X 0,32 mm X 40 um). Se usó hidrógeno como gas transportador. El horno estuvo a una temperatura de 250 ° C, el inyector a 250 ° C y el detector de ionización de llama a 350 °C. Se construyó una curva de calibración con un patrón constituido por una mezcla de 1000 ppm de CO₂ y 5000 ppm de CH₄ como estándar de referencia. Todas las lecturas se hicieron por duplicado. Para realizar las diluciones de los analitos (CO₂ y CH₄) se utilizó una bolsa de polipropileno y aire comprimido grado cromatográfico como disolvente.

Las concentraciones de los gases producidos durante cada una de las etapas de experimentación de los reactores se midieron diariamente según la metodología utilizada por Romero H. et al. (2017), luego de la optimización de los parámetros cromatográficos.

3.4.4. Fotobiorreactores para la producción de biodiesel a partir de microalgas

La recuperación de la biomasa, que generalmente requiere una o más etapas de separación sólido-líquido, es una fase desafiante de la producción de biomasa de algas (Wang, Li, Wu, & Lan, 2008). Según Brennan y Owende (2010), este proceso representa entre el 20 y el 30% del total de los costes de producción. Los principales procesos involucrados en la producción de biodiesel son floculación, filtración, flotación y sedimentación centrífuga, algunos de los cuales son altamente intensivos en energía (Brennan y Owende 2010). Por lo tanto, el fotobiorreactor (PBR) para la producción de biomasa debería permitir una alta utilización de CO₂ con costos de operación reducidos.

Dentro de la producción fotoautótrofa existe una diversidad de sistemas de producción incluyendo estanque abierto, fotobiorreactor cerrado e híbrido (Brennan & Owende, 2010). Como parte del esquema sistémico propuesto, se analizará la producción de

microalgas a partir de un fotobiorreactor laminar (PCT PCT/ES2011/000104-WO2011138477, 2011).

Figura 15. Fotobiorreactor laminar

Fuente: (PCT PCT/ES2011/000104-WO2011138477, 2011)

El propósito de usar el fotobiorreactor laminar (Figura 15) es que es posible suministrar directamente el CO₂ como insumo la producción de biomasa algal, y así aprovechar el CO₂ emitido por la combustión del biogás; este fotobiorreactor permite la recolección de algas cada 5-7 días desde los paneles verticales, con valores de humedad aproximados entre 25-50%. La primera producción a escala piloto de microalgas con fotobiorreactores laminares ocurre en España; sin embargo, los resultados técnicos siguen siendo confidenciales. La siguiente etapa después de la producción y recolección de la biomasa de microalgas es la extracción de lípidos, permitiendo la transformación en biodiesel.

3.4.5. Extracción de lípidos y procesos de transesterificación

Existen varias opciones viables para la conversión de la biomasa de algas; dicha conversión considera los mismos procesos utilizados en la conversión de la biomasa terrestre en energía. Estos procesos dependen de la fuente de biomasa, las opciones de conservación y el uso final. Según Brennan & Owende (2010), podemos separar las tecnologías de conversión de la biomasa de algas en dos categorías básicas, termoquímicas y bioquímicas (Figura 16).

Figura 16. Procesos potenciales de conversión de biomasa de algas
Fuente: (Brennan & Owende, 2010)

Siguiendo la Figura 16, parece que la técnica de conversión más apropiada sería la termoquímica, con los procesos identificados para obtener el biodiesel como licuefacción termoquímica y pirolisis. De estos dos, el proceso que se sugiere para el sistema circular es la licuefacción termoquímica. La licuefacción termoquímica es un proceso de baja temperatura (300-350C) y de alta presión (5-20 MPa), ayudado por un catalizador en presencia de hidrógeno (Goyal, Seal, & Saxena, 2008), convirtiendo el material de biomasa de algas húmedas en combustible líquido (Patil, Tran, & Giselsrød, 2008). Sin embargo, los reactores diseñados para la licuefacción termoquímica y los sistemas de alimentación de combustible son extremadamente complejos y, por lo tanto, altamente costosos (Brennan & Owende, 2010), pero son ventajosos por su capacidad para convertir la biomasa húmeda en energía (Clark & Deswarte, 2015). Se puede considerar que este proceso es un productor neto de energía (Minowa, Yokoyama, Kishimoto, & Okakura, 1995).

4. Sinergias entre la agricultura y la bioenergía en los países latinoamericanos: Una estrategia de economía circular para la producción de bioenergía en Ecuador

4.1. Introducción

La producción de bioenergía es una importante iniciativa mundial para aumentar la seguridad energética y mitigar el cambio climático. Sin embargo, el desarrollo de la bioenergía en combinación con una creciente demanda de alimentos podría conducir a una competencia de los alimentos-combustible para la tierra bio-productiva (Johansson & Azar, 2007).

El biodiesel a base de algas se considera una alternativa prometedora que no compromete las tierras cultivables, pero sólo se espera que esté disponible una tecnología totalmente competitiva a finales de esta década (Malcata, 2011). En varias regiones de América del Sur, como Brasil, el sector de la bioenergía ha incorporado con éxito la tecnología del biodiesel a base de algas. En Ecuador, sin embargo, no se ha analizado aún el potencial de esta estrategia.

La producción de bioenergía ha aumentado dramáticamente durante la última década como resultado de las políticas de mitigación climática (Offermann et al., 2011). Durante este período, los EE.UU. ha invertido más de dos mil millones de dólares en fondos privados para la investigación de algas, el desarrollo y las actividades de demostración (Dixon, 2013; Service RF, 2011). La política de adaptación ha tenido un desarrollo más lento debido a la falta de orientación sobre la aplicación de las medidas.

Hay muy pocos estudios que vinculen la adaptación y la mitigación, y que destaquen las sinergias entre proyectos específicos de biocombustibles. En este trabajo se ha evaluado el potencial del biodiesel a base de algas derivado de un ciclo que incluye un conjunto de bio-procesos para la producción de biomasa, valoración de subproductos, mitigación de emisiones de CO₂ y reducción de la competencia por el uso de la tierra entre cultivos energéticos y los cultivos alimentarios.

Además, hemos cuantificado las sinergias entre la agricultura y la bioenergía, considerando la producción de biodiesel como parte de un conjunto de iniciativas

sistémicas basadas en la economía circular (Zengwei, Jun, & Moriguichi, 2006). Finalmente, las posibles implicaciones de las políticas de promoción de los biocombustibles se discuten bajo diferentes escenarios.

4.2. Una estrategia de economía circular para la producción de biodiesel en Ecuador

En el contexto de la política gubernamental enmarcada en el Plan Nacional para una Buena Vida 2009-2013, la cual encontró continuidad en el nuevo Plan Nacional de Buen Vivir 2013-2017, el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca promueve la producción de los cultivos energéticos de primera, segunda y tercera generación que se requieren como materia prima para la producción de biodiesel². De hecho, el Decreto Ejecutivo 1303 del 28 de septiembre de 2012, emanado de la Presidencia de la República del Ecuador, mediante el que se declara de interés nacional el desarrollo de biocombustibles, es relevante en este contexto político y económico debido al potencial bioeconómico del biodiesel en Ecuador, y hace una propuesta específica para un conjunto sistémico de iniciativas desarrolladas como una estrategia de economía circular. Esta propuesta tiene en cuenta: (1) los avances biotecnológicos actuales que proporcionan información crucial para establecer el camino hacia el desarrollo sostenible de los biocombustibles en Ecuador; (2) información sobre cómo diversificar la matriz energética; (3) planes para el desarrollo rural; y (4) las cuestiones de energía y seguridad alimentaria en las zonas rurales.

En este estudio se ha asumido que la producción de biodiesel a base de algas tiene un alto potencial bioeconómico como parte de un conjunto de iniciativas que se pueden implementar incorporando el concepto de economía circular. La Figura 10 en el capítulo 2 muestra el diagrama de flujo de la propuesta sistémica desarrollada en este estudio, que prioriza el uso de residuos de biomasa para la generación de energía. La propuesta considera la producción de biogás a través de una mezcla de residuos urbanos municipales y estiércol de ganado para generar energía mediante la quema de biogás. La combustión de biogás genera CO₂ que, en lugar de liberarse a la atmósfera, se utiliza en el proceso de producción de microalgas, convirtiendo CO₂ en biomasa y oxígeno a través de la

² Decreto Ejecutivo 1303 del 28 de septiembre de 2012, de la Presidencia de la República del Ecuador, declarando de interés nacional el desarrollo de biocombustibles. <http://www.presidencia.gob.ec/>, junio de 2015.

fotosíntesis. La biomasa obtenida de la producción de microalgas se procesa mediante licuefacción termoquímica. Este proceso permite la separación de lípidos, de proteínas y carbohidratos para producir biodiesel a través de transesterificación. La glicerina obtenida durante el proceso de transesterificación se vende en el mercado local. Además, como el residuo de algas que contiene proteínas e hidratos de carbono se reutiliza como alimento para animales, se alienta a los agricultores a recoger estiércol de ganado para su transferencia a la planta de biogás.

Una evaluación económica y ambiental de esta estrategia de agricultura circular es crucial para orientar el diseño de políticas y medidas coherentes con las sinergias en la agricultura y bioenergía.

4.3. Materiales y métodos

La revisión de la literatura existente mostró que hay publicaciones científicas que abordan en detalle algunas de las iniciativas propuestas en este trabajo, como la producción de biogás a partir de residuos urbanos y estiércol (Macias-Corral et al., 2008), el potencial de producción de biogás a partir de residuos y su conversión en electricidad (Cuéllar & Webber, 2008), y la producción de biodiesel de microalgas (Ahmad, Yasin, Derek, & Lim, 2011; Dixon, 2013; Kovacevic & Wesseler, 2010). Sin embargo, no se encontraron estudios que describieran o cuantificaran en términos financieros las sinergias entre agricultura y bioenergía abordadas en este estudio.

En este estudio hemos aplicado el Análisis Beneficio-Costo (BCA) para estimar las posibles sinergias entre la agricultura y la bioenergía. Se evaluaron cuatro escenarios para la producción de biodiesel a partir de microalgas y se compararon con el biodiesel de la palma africana. Para cuantificar el potencial del sistema propuesto, se han realizado cuatro estimaciones de datos basadas en la información disponible en Ecuador.

A continuación, se presenta la metodología utilizada para evaluar cada uno de los componentes de la estrategia circular de agricultura. En la siguiente sección, describiremos los escenarios de simulación analizados en este estudio.

4.3.1. Producción de biogás a partir de residuos y sus efectos sobre las emisiones de GEI procedentes de la agricultura

El primer componente del sistema propuesto se refiere al tratamiento agrícola que pretende combinar residuos orgánicos municipales y residuos agrícolas para generar biogás y posteriormente energía eléctrica. Además del beneficio económico de la venta de electricidad, también analizamos el potencial beneficio ambiental de la mitigación de los gases de efecto invernadero (GEI), expresado en toneladas de CO₂ equivalente y su transformación monetaria en bonificación de carbono.

Hemos seguido el trabajo de Macias-Corral et al. (2008) para realizar el tratamiento agrícola. Estos autores demostraron la aplicación de un sistema de digestión anaeróbica de dos fases y evaluaron la co-digestión de varias composiciones de desechos que incluían tanto residuos sólidos municipales (MSW) como estiércol de vaca (CM). Los hallazgos relevantes para este trabajo incluyen lo siguiente:

- El uso de un reactor con digestión anaerobia bifásica para cada una de las muestras analizadas se presentó como porcentaje promedio de contenido de metano (CH₄) superior al 70%.
- La mezcla de 90% de MSW y 10% de CM mostró la mayor producción de biogás con una productividad de 172 m³ de CH₄ / tonelada en residuos secos y experimentó una reducción de peso del 78,3% y una reducción del volumen del 98% después de 141 días, demostrando ser la mezcla más eficiente de co-digestión.

Para cuantificar las emisiones de GEI, se aplicó la metodología desarrollada por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). Los datos en bruto sobre el número de ganado fueron tomados del Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos Nacionales (INEC) (INEC, 2014b). Se seleccionó el período 2004-2011 y se analizó la evolución del número de animales durante ese período.

Estos datos se proyectaron hasta 2025 considerando una tasa anual equivalente basada en información estadística histórica del ganado. Esto se ha hecho porque al ajustar estas series con herramientas estadísticas tales como @RISK, las aproximaciones fueron de mala calidad y diferían al variar los criterios estadísticos para la aproximación (Chi-cuadrado, Anderson-Darling, Kolmogorov-Smirnov).

Como punto de partida para estimar las emisiones de GEI, la población ganadera del Ecuador se reclasificó en 5 categorías, siguiendo la clasificación sugerida por Cuéllar & Webber, (2008) y EPA, (2013): 1) ganado engordado, 2) vacas lecheras, 3) otros Ganado vacuno y lechero, 4) cerdos, y 5) aves de corral. La reclasificación consistía en transformar las unidades físicas del ganado en unidades animales que se consideraban individualmente pesando 1000 kg por tipo de ganado. Para ello, tal como sugieren Cuéllar & Webber (2008), se utilizaron los factores de conversión unitaria dados por Kellogg et al. (2000). Después de determinar el número de unidades animales, se estimó la cantidad de estiércol excretado por tipo de ganado utilizando la metodología de la EPA (2013) y IPCC, (2006). De las emisiones totales de CH₄ y N₂O estimadas en este trabajo, sólo se consideraron las emisiones producidas durante la manipulación del estiércol.

Para cuantificar los ingresos potenciales derivados de la reducción de las emisiones, tomamos como referencia el precio de las Reducciones Certificadas de Emisiones (CER) en España con el Fondo de Carbono existente, ya que este fondo puede financiar proyectos en terceros países y enfoques sistémicos, como el de este estudio, que son fuertes candidatos para beneficiarse de este fondo. El precio del CER en 2013 fue de 9.60 \$ / tonelada de CO₂ equivalente³. Aunque se prevé que este precio aumente con el tiempo, con el propósito de simplificación y con el fin de utilizar una estimación conservadora, asumimos un precio constante a lo largo del horizonte de planificación (hasta 2025).

4.3.2. Potencial de generación de energía a partir del biogás y emisiones de CO₂ relacionadas

Según la metodología aplicada por Cuéllar & Webber (2008), el potencial de generación de energía se determinó sobre la base de que el objetivo de este análisis era realizar una evaluación de alto nivel acerca de la posibilidad de convertir estiércol en biogás. Para estimar la cantidad de energía que puede generar el estiércol en el Ecuador, se utilizaron las series de datos sobre el número de animales por categoría.

Los beneficios ambientales globales del biogás son generalmente más altos cuando se utiliza como combustible de reemplazo para vehículos de gasolina o diésel. Esto se debe a las reducciones substanciales adicionales en las emisiones de otros contaminantes del

³ El precio del CER, fijado por el Fondo español de carbono en euros por tonelada, se ha convertido en dólares estadounidenses por tonelada. El USD ha sido la moneda local en Ecuador desde el año 2000.

aire, tales como hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, partículas, etc. Por el contrario, cuando el biogás se utiliza para reemplazar el petróleo o el gas natural en grandes centrales térmicas o centrales eléctricas, las reducciones de los contaminantes del aire son menores o insignificantes (Börjesson & Berglund, 2007; Lantz et al., 2007).

4.3.3. Cultivos energéticos alternativos

Como parte de la propuesta presentada en la Figura 9, fue necesario explorar cuáles cultivos energéticos tienen el mayor rendimiento económico y ambiental. Para ello fueron consideradas tres etapas principales (producción de biomasa, extracción de lípidos y proceso de transesterificación para producir biodiesel) (Kovacevic & Wesseler, 2010). Se desarrollaron tres vías de producción de biodiesel que abarcaban tres cultivos energéticos: aceite de palma (PO), microalgas en estanques abiertos (M1) (Kovacevic & Wesseler, 2010) y microalgas en un fotobiorreactor laminar (M2) (PCT PCT/ES2011/000104-WO2011138477, 2011).

Para evaluar el desempeño económico de cada vía, hemos utilizado el Análisis Beneficio-Costo (BCA), una herramienta clave en el campo de la toma de decisiones públicas, ya que proporciona un procedimiento de evaluación sistemático y formalizado. El BCA evalúa la conveniencia de proyectos de inversión alternativos mediante la identificación y posterior evaluación -en términos monetarios- de todos los costos y beneficios derivados de cada proyecto alternativo. Dos de los criterios de evaluación más destacados fueron seleccionados para este estudio: el valor actual neto (VAN) y la relación costo beneficio (BCR).

El VAN compara el valor inicial de una inversión con el valor presente de los flujos de efectivo futuros provenientes de la inversión. El valor actual de los flujos de efectivo esperados se calcula descontándolos a una tasa de rendimiento estipulada. Por lo tanto, para calcular el VAN, aplicamos la siguiente expresión:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad (14)$$

Donde V_t representa el flujo de caja en el período t ; I_0 es el valor del desembolso inicial de la inversión; N se refiere al número de períodos considerados; y k es la tasa de descuento.

En este estudio, el año inicial fue 2014 y el horizonte temporal fue de 11 años, correspondiente al período 2014-2025. Este es también el período considerado en la reglamentación ecuatoriana que promueve el desarrollo de la bioenergía (SENPLADES, 2009).

La elección de la tasa de descuento es crítica para el BCA, ya que puede influir en el VAN y, por lo tanto, en la deseabilidad relativa de los proyectos. En este estudio se analizaron dos tasas de interés diferentes: 1) tasa de depósito de referencia (6,48%); y 2) tasa de interés efectiva del sector financiero (8,84%), ambas establecidas por el Banco Central del Ecuador (BCE, 2013). El propósito del análisis fue considerar las condiciones del mercado en relación con el costo del dinero en Ecuador.

El valor de inversión inicial (I_0) se calculó sobre la base de los costos de capital para cada etapa del proceso de producción de biodiesel. La depreciación se calculó dividiendo la inversión inicial por el número de períodos pendientes (duración de la inversión).

El flujo de caja esperado en cada período (V_t) es la diferencia entre ingresos y gastos anuales. Para calcular los flujos de efectivo, primero identificamos los costos anuales para cada tipo de cultivo energético en USD por hectárea (\$ / ha). Asimismo, identificamos los gastos operativos para cada etapa de la producción de biocombustibles, teniendo en cuenta una variación anual equivalente al Índice de Precios al Consumidor (IPC) del Ecuador.

Los ingresos se estimaron en base a la productividad del biodiesel en litros por hectárea (L / ha) multiplicada por el precio mundial del biodiesel para cada período t (\$ / L) y por el número de hectáreas cultivadas (ha). El precio mundial del biodiesel estimado por FAPRI, (2012) se utilizó como referencia para el precio del biodiesel en Ecuador. Además, tuvimos en cuenta las siguientes consideraciones:

- Para cada período, se calculó el ingreso menos los gastos totales y menos la depreciación del período t , es decir, el beneficio antes de impuestos.
- El beneficio anual en el período t se obtuvo restando impuestos a la ganancia bruta. Asumimos un tipo impositivo del 22%, que corresponde al impuesto sobre la renta en Ecuador.

- El flujo de efectivo en el período t se calculó como la utilidad anual en el período t más la depreciación del mismo año. Esto se utilizó porque la depreciación no es una salida efectiva de dinero y por lo tanto no puede considerarse gasto.

El BCR compara los beneficios descontados totales con los costos descontados totales. Para calcular el BCR, se aplicó la siguiente fórmula:

$$Relación_{costo-beneficio} = \frac{Beneficios\ totales}{Costos\ totales} \quad (15)$$

Con el fin de tener una visión de los resultados del sector privado y público, los préstamos del gobierno al sector de la bioenergía se consideraron como costos públicos. Además, los impuestos pagados por el sector de la bioenergía durante el período de análisis se consideraron ingresos públicos.

Teniendo en cuenta todas las consideraciones anteriores, el VAN y el BCR para cada cultivo energético se calcularon resolviendo un problema de optimización bajo restricciones caracterizadas por:

- **Función objetivo:** maximizar el VAN de la producción de biodiesel hasta 2025.
- **Limitación de área:** el área total asignada a cultivos energéticos no puede exceder el número de hectáreas disponibles en Ecuador.
- **Limitación de la demanda de biodiesel:** cada vía de producción tiene que producir suficiente biodiesel para satisfacer la demanda. La demanda de biodiesel para el período 2014-2025 se estimó sobre la base de datos y proyecciones sobre el consumo de diésel en el país⁴. En Ecuador se utilizan dos mezclas de biodiesel: B5 (5% biodiesel) y B10 (10% biodiesel).
- **Limitación de capital:** los recursos financieros para invertir en proyectos de bioenergía pueden ser limitados. Del mismo modo, la financiación gubernamental para inversiones en bioenergía puede ser limitada.

Durante el proceso de producción, se consideraron tres etapas para cada vía (cada cultivo energético), incluyendo:

- **Producción de Biomasa:** la producción se expresó en toneladas de biomasa por hectárea. Se estimaron los costos en USD por hectárea, incluyendo costos de

⁴ BCE. Informe del Sector Petrolero, IV Semestre 2012. Quito: Banco Central de Ecuador. Obtenido de <http://www.bce.fin.ec/>; Junio de 2015.

operación tanto de capital como de cultivos. Sin embargo, el procedimiento de cultivo agronómico no está detallado en este estudio.

- **Extracción de lípidos:** para los costos de capital y operación relacionados con el proceso de extracción de los contenidos de aceite (lípidos) de la biomasa una vez cosechada, se estableció que existen diferentes tratamientos y costos para cada tipo de biomasa. Estos factores fueron tomados a partir de publicaciones científicas que permiten establecer un mayor nivel de confianza en los resultados de los cálculos (Ahmad et al., 2011; Amaro, Guedes, & Malcata, 2011; Brennan & Owende, 2010; Kovacevic & Wesseler, 2010). A efectos de comparación, la producción y los costos se expresaron en unidades por hectárea. Considerando que el propósito de este estudio no es la descripción técnica de términos y procedimientos, el procedimiento técnico del proceso de extracción se describe brevemente.
- **Proceso de transesterificación:** en esta etapa contabilizamos los costos de capital y de operación (como USD por hectárea) necesarios para convertir el aceite extraído de la biomasa en biodiesel. Los subproductos generados en esta etapa se cuantifican como otros ingresos en el flujo de caja.

4.3.4. Potencial de alimentación animal de los co-productos de biodiesel

Para estimar la cantidad de alimento animal generado como un co-producto de procesamiento de palma y microalgas, se consideró lo siguiente:

- Para la palma, se estimó que el 80% de su biomasa se utilizaría como pienso bovino en el año base y este porcentaje se reduciría al 75% para 2025.
- En el caso de las microalgas, se calculó que el 70% de su biomasa se utilizaría como alimento para la especie bovina en el año de base y este porcentaje se reduciría al 60% para 2025.

Para calcular los ingresos generados por la alimentación animal (utilizada en el sector ganadero y acuícola), fue necesario multiplicar la cantidad de pienso producida anualmente por su precio. Este precio difiere de los precios del sustrato de palma y microalgas porque estos últimos tienen mayor contenido de proteínas y carbohidratos.

4.4. Escenarios de simulación

Se definieron cuatro escenarios alternativos que diferían en cuanto a la disponibilidad de capital privado para invertir en el sector de la bioenergía, así como en el apoyo público a las inversiones en bioenergía.

Escenario 1 (S1): este escenario supone que existe suficiente capital disponible para invertir en el sector de la bioenergía; por lo tanto, el objetivo es maximizar el VAN del sector del biodiesel basado en cultivos para satisfacer la demanda esperada de B5 y B10 en Ecuador. Esta maximización debe tener en cuenta la limitación de la disponibilidad de tierras agrícolas.

Escenario 2 (S2): S1 más incentivos fiscales. Según el catálogo de inversiones estratégicas del Ecuador⁵, inversiones en producción de bioenergía se benefician de incentivos fiscales. Los proyectos de producción de biocombustibles se benefician de una exención del 100% durante los primeros cinco años de producción.

Escenario 3 (S3): Se supone que no hay suficiente capital disponible de los inversores en el sector de la bioenergía para satisfacer la demanda esperada de B5 y B10. En consecuencia, el gobierno establece una línea de financiación gubernamental, a un tipo de interés del 8% y con un período de gracia de 4 años para el reembolso del capital. La financiación pública puede cubrir hasta el 80% de la inversión total, mientras que el 20% restante debe ser pagado por inversores privados.

Escenario 4 (S4): S3 más los incentivos fiscales descritos en S2.

4.5. Resultados

4.5.1. Producción de biogás a partir de residuos y sus efectos sobre las emisiones de GEI procedentes de la agricultura

De acuerdo con la metodología presentada anteriormente, analizamos el potencial de la producción de biogás a partir de residuos agrícolas y estimamos las emisiones de GEI relacionadas con el manejo del estiércol. La Figura 17 presenta los resultados de las estimaciones de las emisiones de CH₄ y N₂O de la gestión del estiércol en 2015 y 2025, expresadas en teragramos (Tg). En el período 2014-2025, las emisiones de GEI ascienden

⁵ Información obtenida de <http://www.sectoresestrategicos.gob.ec/en> junio de 2015.

a 145.49 millones de toneladas de CO₂ equivalente. Los beneficios de reducir las emisiones de estiércol se estimaron calculando el VAN adicional que resultaría de la bonificación de carbono. Para ello, se valoró la reducción anual de emisiones al precio de referencia del carbono y se calculó el VAN para el período 2014-2025 para las dos tasas de descuento mencionadas en los Métodos.

Figura 17. Emisiones de CO₂ de la gestión del estiércol Emisiones de GEI procedentes del manejo del estiércol

El impacto de la bonificación de carbono sobre la viabilidad financiera de la propuesta es significativo. El VAN aumentará en \$ 897.80 millones a una tasa de descuento de 6.48% y \$ 791.30 millones a una tasa de 8.84%. Bajo la estrategia sugerida, Ecuador podría recibir aproximadamente \$ 800 millones para implementar políticas orientadas a la gestión del estiércol y la reducción de emisiones. La limitación de esta estimación es la posible variabilidad de la bonificación de carbono en el tiempo, ya que este estudio supone el mismo precio de carbono a lo largo de 2015-2025.

4.5.2. Potencial de generación de energía a partir del biogás y emisiones de CO₂ relacionadas

La conversión de residuos (MSW y CM) en biogás genera ingresos como resultado de su combustión y producción de energía. Como la eficiencia del motor durante la combustión del biogás influye claramente en el desempeño económico del sistema, se realizaron estimaciones para factores de eficiencia entre 25% y 40%.

La Figura 18 presenta los valores estimados - en 2015 y 2025 - para los ingresos de generación eléctrica, el precio de la energía por kWh y el costo de oportunidad de las emisiones de carbono al quemar biogás.

El VAN durante el período 2014-2025, a una tasa de descuento del 6.48%, se estimó entre \$ 1098.71 y \$ 1757.94 millones para factores de eficiencia de entre el 25% y el 40%, respectivamente. El VAN con una tasa de descuento del 8.84% se estimó entre \$ 977.20 y \$ 1563.51 millones para los factores de eficiencia entre el 25% y el 40%, respectivamente.

Las emisiones de CO₂ de la combustión de biogás se valoran en términos negativos como un costo de oportunidad por no percibir los ingresos de un fondo de carbono. El VAN a una tasa del 6.48% se estima entre - \$ 354.15 y - \$ 303.34 millones para los factores de eficiencia del 25% y 40%, respectivamente. El VAN a una tasa del 8.84% se estima entre - \$ 313.24 y - \$ 268.30 millones para los factores de eficiencia del 25% y 40%, respectivamente.

Figura 18. Ingresos y costos de oportunidad de CO₂ derivados de la generación de energía basada en biogás

4.5.3. Cultivos energéticos alternativos

Se evaluó la rentabilidad de las tres vías alternativas para la producción de biodiesel: aceite de palma (PO), microalgas en estanques abiertos (M1) y microalgas en fotobiorreactores laminares (M2). Las Tablas 7 y 8 muestran los principales resultados obtenidos para los cuatro escenarios considerados en este estudio. La producción de biodiesel a partir de microalgas en estanques abiertos (M1) sólo arrojó resultados

positivos en S2. En todos los demás escenarios, M1 resultó en un VPN negativo. Por lo tanto, los resultados para la opción M1 sólo se presentan para S2 (Tabla 6) y no se discuten más. Dado que esta opción es claramente inferior, sólo comparamos las opciones PO y M2.

Los escenarios S1 y S2 fueron evaluados desde una perspectiva privada. La Tabla 6 muestra los resultados en términos del VAN y BCR para el sector privado, así como los ingresos fiscales provenientes de la recaudación de impuestos. Suponiendo suficiente disponibilidad de capital privado, el biodiesel de PO requerirá una inversión de \$ 1.5 mil millones al usar el 100% de la superficie agrícola disponible en Ecuador. En S1, este nivel de inversión generará un VAN entre \$ 1420 y \$ 941 millones, un BCR privado de entre 1.91 y 1.61, y los ingresos fiscales entre \$ 860 y \$ 786 millones. La producción de biodiesel de PO representará el 91% de la demanda de biodiesel para el año 2025, resultando insuficiente para satisfacer la demanda.

Tabla 7. Resumen del análisis coste-beneficio por cultivo energético en los escenarios 1 y 2

Escenarios	Cultivo Energético	Tasa de descuento (k)	VAN privado (\$ millones)	Privado BCR	Ingresos gobierno (\$ millones)	Uso de superficie agrícola (%)	Demanda de biodiesel satisfecha (%)	Inversión requerida (\$ millones)
1	Palma	6.68%	1,420.48	1.91	859.75	100%	91%	1,553.83
		8.84%	940.83	1.61	785.80			
	Algae2	6.68%	15,526.44	1.75	6,142.61	100%	877%	20,819.55
		8.84%	10,789.04	1.52	5,554.77			
2	Palma	6.68%	1,881.32	2.21	363.93	100%	91%	1,553.83
		8.84%	1,335.60	1.86	354.06			
	Algae1	6.68%	64.06	1	1,136.92	100%	705%	15,051.52
	Algae2	6.68%	17,294.05	1.83	5,988.51	100%	877%	20,819.55
		8.84%	12,428.94	1.60	5,521.23			

En relación con el biodiesel M2, para ocupar el 100% de la superficie disponible para cultivos energéticos en Ecuador, la inversión necesaria es de \$ 20.800 millones. En S1 esto genera un NPV de entre \$ 15.5 y \$ 10.8 mil millones, un BCR privado entre 1.75 y 1.52, y los ingresos tributarios estimados entre \$ 6.1 y \$ 5.3 mil millones. Estos resultados satisfacen holgadamente la demanda de B10 hasta 2025 y generan excedentes hasta el

punto de que será posible exportar hasta siete veces el consumo interno de B10 hasta 2025.

Los resultados del escenario S2 sólo difieren de los presentados para S1 con respecto a los ingresos tributarios, que serán menores debido a los incentivos fiscales. En consecuencia, los valores correspondientes para NPV y BCR serán mayores. Si bien S1 y S2 han demostrado ser útiles para comparar las vías alternativas para la producción de biodiesel, estos escenarios son improbables porque asumen una alta disponibilidad de capital y usan toda la tierra disponible (incluso en el caso de microalgas en fotobiorreactores laminares). Por lo tanto, nuestro enfoque se centrará en los escenarios S3 y S4, que fueron evaluados desde una perspectiva privada y pública (Tabla 8). Estos escenarios suponen que el capital privado es un factor limitante y hay posibilidades de financiación pública para inversiones en bioenergía.

Tabla 8. Resumen del análisis coste-beneficio por cultivo energético en los escenarios 3 y 4

Escenarios	Cultivo Energético	Tasa de descuento (k)	VAN privado (\$ millones)	Privado BCR	VAN público (\$ millones)	Público BCR	Uso de superficie agrícola (%)	Demanda de biodiesel satisfecha (%)	Inversión requerida (\$ millones)	Fondos públicos (\$ millones)
3	Palma	6.68%	1,363.03	5.39	726.26	1.58	100%	91%	1,553.83	1,243.07
		8.84%	1,043.27	4.36	457.52	1.37				
	Algae2	6.68%	1,988.41	4.77	759.17	1.36	12.68%	118%	2,639.87	2,111.89
		8.84%	1,653.04	4.13	381.28	1.18				
4	Palma	6.68%	1,772.64	6.70	316.64	1.25	100%	91%	1,553.83	1,243.07
		8.84%	1,393.55	5.48	107.24	1.09				
	Algae2	6.68%	2,068.08	4.92	679.71	1.32	12.68%	118%	2,639.87	2,111.89
		8.84%	1,725.66	4.27	308.66	1.15				

La Tabla 8 muestra que en comparación con S1 y S2, el BCR privado bajo los escenarios S3 y S4 mejoró para ambas vías de producción (PO y M2). Si bien las diferencias en BCR son pequeñas, los resultados muestran una gran divergencia en términos de uso de la tierra. Con el fin de satisfacer el 91% de la demanda interna de biodiesel, la opción de PO utiliza el 100% de las tierras agrícolas disponibles. Por el contrario, M2 satisface plenamente la demanda interna de biodiesel utilizando sólo el 12.7% de la tierra disponible. Por otra parte, mientras que la inversión requerida es menor en el caso de PO y el BCR es más alto en la mayoría de los escenarios, el VAN es más bajo para PO que

para el biodiesel basado en algas. De estos hallazgos, junto con una menor presión sobre la frontera agrícola en el caso de M2, concluimos que en Ecuador, el desarrollo de un sector de bioenergía basado en algas es una alternativa prometedora tanto desde el punto de vista técnico como económico.

4.5.4. Potencial de alimentación animal de los co-productos de biodiesel

Durante la extracción de lípidos de la biomasa de cultivos energéticos, se genera un co-producto rico en proteínas y carbohidratos. Este co-producto se puede utilizar como alimento para el ganado lechero en Ecuador. La Figura 19 muestra la producción potencial de pienso de los co-productos de biodiesel, medidos en toneladas de alimento por unidad de ganado.

Figura 19. Producción de piensos a partir de co-productos de biodiesel

A partir de la Figura 19, se puede observar que en el caso de la vía PO, el potencial de producción de alimento en 2015 y 2025 será de 1.2 y 1.8 toneladas por unidad de ganado, respectivamente. Este potencial será el mismo en todos los escenarios evaluados. Por el contrario, para la vía M2, la producción de piensos en 2015 y 2025 alcanza 4.12 y 4.15 toneladas por unidad de ganado, respectivamente, en los escenarios S1 y S2, donde se utiliza toda la tierra disponible.

Sin embargo, en S3 y S4, la producción de piensos en 2015 y 2025 será de 0.52 y 0.53 toneladas por unidad de ganado. En resumen, utilizando la misma superficie, M2 tiene un potencial de producción de pienso de 3.4 y 2.3 veces más alto que el PO en 2015 y 2025, respectivamente. En S3 y S4, M2 usa solo el 13% de la tierra utilizada por PO y produce entre 43% y 29% de la alimentación producida por PO.

4.6. Discusión

4.6.1. Sinergias vs producción de biodiesel

En la sección anterior se evaluaron varios procesos como actividades aisladas: producción de biodiesel, manejo de residuos, generación de energía, producción de alimentos a partir de co-productos de biodiesel y emisiones de GEI. Aquí, evaluamos conjuntamente esas actividades, diferenciando entre estrategias no sinérgicas y sinérgicas.

En base a las simulaciones realizadas en este estudio, las Tablas 9 y 10 resumen los resultados del BCA para las iniciativas individuales, así como para nuestro esquema sistémico propuesto. Estos resultados se basan en S4 porque este es el escenario más probable.

Los resultados de la estrategia no sinérgica, incluido el biodiesel de aceite de palma, se presentan en la Tabla 9. El biodiesel de aceite de palma demostró ser rentable desde una perspectiva privada. Requiere una inversión de 1550 millones de dólares y genera un VPN privado entre 1400 y 1800 millones de dólares, siendo el BCR privado entre 6.70 y 5.48. Esta alternativa utiliza toda la tierra disponible para que los cultivos energéticos produzcan 575 millones de litros de biodiesel al año, lo que representa el 91% de la demanda interna de B10.

Tabla 9. Resumen de los costos y beneficios individuales para las iniciativas propuestas

Descripción	Actividad	Cuantificación	Costos/Beneficios
Residuos orgánicos urbanos (MSW)	Emisiones de CO ₂ y lixiviado.	N/A (-)	N/A (-)
Residuos orgánicos agrícolas (CM)	Estiércol de ganado, Emisiones equivalentes de CO ₂	145.49 millones de toneladas equivalentes de CO ₂	791 a 898 millones de dólares (-)
Producción de Biodiesel	Cultivo de palma africana	Uso 161856 hectáreas (100% superficie disponible) y máxima satisfacción de la demanda al 90%.	1393 a 1772 millones de dólares (+)

Desde una perspectiva pública, la opción de PO genera un NPV público de entre \$ 107 y \$ 316 millones con un BCR entre 1.11 y 1.28. Además de la producción de biodiesel, hay que considerar la contribución de las otras dos iniciativas propuestas en este estudio.

El CM de Ecuador que no ha sido tratado emite aproximadamente 145 millones de toneladas de equivalentes de CO₂. Como una estimación de los costos generados por estas emisiones, podemos usar el beneficio económico que podría resultar de la mitigación; es decir, entre \$ 791 y \$ 898 millones. Al igual que en CM, se puede identificar un costo de oportunidad para MSW. Sin embargo, debido a la limitada información, no fue posible cuantificar las emisiones de CO₂ relacionadas y su costo de oportunidad correspondiente.

Tabla 10. Resumen de los costos-beneficios de las iniciativas propuestas en su conjunto

Descripción	Actividad	Cuantificación	Costos/Beneficios
Sector agrícola	Costo de almacenamiento y transporte de estiércol	N/A	** Incentivos para manejo y transporte a punto de acopio.
Sinergias MSW + CM	Mitigación de emisiones equivalentes de CO ₂	Reducción de 145.49 millones de toneladas equivalentes de CO ₂	791 a 898 millones de dólares (+) Aplica a CER
Generación eléctrica	Digestión anaerobia MSW+CM	47543 a 76069 GWh de electricidad.	977.20 a 1757.94 millones de dólares (+); Costos de inversión en Planta (-)
	Combustión de biogás	48.66 a 56.81 millones de toneladas de CO ₂ emitido por la combustión de biogás.	268.30 a 354.15 millones de dólares (-)
Producción de Biodiesel	Cultivo de microalgas en fotobiorreactores laminares	Uso de 20523 hectáreas (13% superficie disponible) y satisfacción de la demanda del 118% para el biodiesel B10	2068 a 1726 millones de dólares (+)
	Aprovechamiento del CO ₂ de la combustión de biogás	48.66 a 56.81 millones de toneladas de CO ₂ emitido por la combustión de biogás.	268.30 a 354.15 millones de dólares (-)
	Producción rural de microalgas	N/A	N/A
	Pienso para ganado	7.17 millones de toneladas	** Pienso a precio diferenciado para incentivo de recolección y transporte de CM

Para evaluar la estrategia sinérgica, es necesario considerar dos nuevos procesos que no ocurren individualmente. El primero se refiere a la interacción del sector agrícola en la recolección y entrega de CM, mientras que el segundo hace referencia a la generación de energía que es el resultado de la combustión de biogás generada por la digestión anaeróbica de MSW + CM. El conjunto de iniciativas propuestas como un sistema (Figura 10) permite aprovechar la reducción de las emisiones de CO₂ de CM, ya que un ingreso extra entre \$ 791 y \$ 898 millones puede ser generado a través de la participación en un fondo de carbono.

La estrategia sinérgica MSW + CM se utiliza para producir biogás que, a su vez, generará electricidad, con una producción estimada de energía entre 6340 y 3962 GWh brutos por año hasta 2025. Teniendo en cuenta la tasa de crecimiento anual del precio por KWh en Ecuador durante los últimos 10 años, se estima que el ingreso potencial por la venta de electricidad oscilará entre \$ 977.20 y \$ 1757.94 mil millones. Esta generación de energía implica la combustión del biogás y, por tanto, implica emisiones de CO₂ entre 48.66 y 56.81 millones de toneladas. Estas emisiones implican un costo de oportunidad entre \$ 268.30 y \$ 354.15 millones.

La producción de biodiesel en el sistema propuesto consideró M2 en lugar de PO, requiriendo siete veces menos tierra. Para el año 2025, la demanda interna de B10 en Ecuador estará satisfecha, con un promedio de 764 millones de litros de biodiesel por año. Además, el VPN privado está entre \$ 2.07 y \$ 1.73 mil millones con una inversión total de \$ 2.64 mil millones y un BCR entre 4.27 y 4.92. Por otro lado, el NPV público se encuentra entre \$ 309 y \$ 680 millones con un BCR entre 1.15 y 1.32, mostrando que M2 es preferible a PO.

Otra ventaja de M2 es que puede convertir CO₂ en biomasa. Por esta razón, los costes de las emisiones de CO₂ resultantes de la combustión del biogás en la generación de electricidad se ven atenuados por el potencial de absorción de carbono de las microalgas. Por lo tanto, el efecto negativo de la combustión del biogás es contrapesado. La producción rural de microalgas es una de las actividades que no pudieron cuantificarse en este estudio debido a la escasa información disponible sobre las estructuras de producción agrícola rural, así como sobre los modelos de producción de manejo en Ecuador.

La producción de biodiesel a partir de microalgas genera un residuo rico en proteínas y carbohidratos, que puede ser utilizado como pienso. La producción de piensos se estima

en 652000 toneladas anuales hasta 2025. Dado que este producto tiene un precio preferencial de 10 dólares por saco de 23 kg (comparado con el precio medio de los piensos de 10 dólares por kg), existe un incentivo para que los agricultores recojan CM, y se entregue a los puntos de digestión anaerobios.

4.6.2. Implicaciones de política

A pesar de que el estudio sólo plantea tendencias y escenarios basados en información histórica, sin considerar impactos inesperados y otros fenómenos que puedan implicar cambios en las tendencias futuras, constituye un enfoque consistente y relevante para estimar posibles escenarios futuros para el desarrollo del sector bioenergético en Ecuador. En particular, este enfoque proporciona la información necesaria para orientar las políticas públicas que buscan diversificar las fuentes de energía, el desarrollo rural y la soberanía alimentaria. Además, es importante considerar estudios adicionales que reflejen el impacto de los cultivos energéticos en el sector agrícola del Ecuador.

Asimismo, es importante considerar el potencial bioeconómico que resulta de aprovechar las sinergias entre la agricultura y la bioenergía en las Zonas de Integración Fronteriza de Ecuador y América Latina como política de desarrollo social y complementariedad económica que apunta a la integración regional.

5. El potencial de las estrategias circulares de agricultura-bioenergía en la erradicación de la pobreza en la frontera Ecuador-Perú

5.1. Introducción

La lucha contra la pobreza ha cobrado una especial relevancia durante los últimos tiempos. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (UN, 2015a, 2015b) son un claro símbolo de este hecho, definiendo a la erradicación de la extrema pobreza como primer objetivo. Por ello, es una prioridad mundial la identificación de instrumentos, estrategias e iniciativas innovadoras que contribuyan a reducir o cambiar las dinámicas de los territorios en condición de pobreza. En el marco de la innovación, la literatura científica actual identifica el concepto de la Economía Circular (EC) como una influencia positiva en la política y la innovación en algunas de las economías más grandes del mundo como China, Alemania, Japón y el Reino Unido (Winans et al., 2017).

En general la literatura científica concentra el estudio de la pobreza en su medición y diagnóstico, mientras que en el caso de la EC, aún el enfoque principal se relaciona con la ingeniería de procesos, identificando brechas críticas de investigación al aplicar el concepto de EC y su evaluación en las industrias agrícolas, productos de la industria química, bioquímica y las cadenas de valor (Winans et al., 2017), por lo que un marco de referencia que describa cómo las iniciativas basadas en EC interactúan con la pobreza es una de las deficiencias en la literatura actual.

Tras una revisión de los recientes estudios en el marco de la EC, así como en el contexto de la pobreza en Latinoamérica, en este estudio se plantea un análisis de caso para identificar y cuantificar las potenciales interacciones entre las estrategias basadas en la EC y los cambios en la condición de pobreza, incorporando evidencia empírica y metodológica que abra el debate en torno a las limitaciones enunciadas.

La estructura de este trabajo considera una sección (5.2) para la revisión de la literatura, identificando el estado del arte y casos de estudio destacados referentes a la pobreza y EC en el contexto global. El siguiente apartado (5.3) responde al marco teórico y las hipótesis que describe las interacciones entre la pobreza y la EC. El apartado (5.4) describe el caso de estudio y el estado actual de investigación en el marco de su condición de pobreza y

las iniciativas basada en EC. El apartado (5.5) describe las herramientas metodológicas y fuentes de información oficial aplicados en este estudio. El punto (5.6) presenta los resultados relevantes y continua con una breve discusión acerca de las interacciones complejas y los cambios en la pobreza (5.7).

5.2. Revisión de Literatura

En este apartado se presenta el desarrollo actual del estado del arte en cuanto a los conceptos de pobreza e iniciativas basadas en EC en el ambito global. En el caso de la pobreza, la literatura científica se concentra en su medición y diagnóstico, mientras que para la EC las iniciativas y casos de estudio privilegian los enfoques orientados hacia la ingeniería de procesos.

5.2.1. El estudio de la pobreza

El enfoque tradicional para la medición de la pobreza se limita a un espacio unidimensional de los recursos que una persona posee; recursos medidos típicamente por el ingreso y el consumo. Este enfoque define a la población en condición de pobreza como aquellas personas que no disponen de los medios de producción, bienes materiales, intelectuales, sociales, culturales, financieros y demás actividades que permitan generar fuentes permanentes de ingresos y, a su vez, con base a las líneas de pobreza (Alkire and Santos, 2014; Barrett and Carter, 2013; Foster et al., 1984).

Esta limitación al espacio monetarista del enfoque de la pobreza ha motivado nuevos paradigmas, como el pensar en las capacidades que tiene el ser humano para actuar y contribuir con sus actos al desarrollo pleno de la sociedad y cuya privación evita el desarrollo pleno de esas capacidades limitando alcanzar el bienestar (Pressman, Steven; Summerfield, 2000; Sen, 1997). Bajo esta crítica al enfoque monetarista de la medición de la pobreza, se desarrollan aproximaciones multidimensionales de la pobreza tales como: la pobreza por necesidades básicas insatisfechas (NBI) (Streeten et al., 1981), la pobreza monetaria como complemento de las NBI (Katzman, 1989), el índice de desarrollo humano (Haq, 1993, 1999) y del estudio realizado por Foster et al. (1984) donde se considera un estudio de la pobreza y su descomposición a partir de los indicadores FGT⁶; a partir de este último se crean nuevas líneas o enfoques de

⁶ FGT es la referencia al trabajo: A Class of Decomposable Poverty Measures, que los autores propusieron a los indicadores para la descomposición de la pobreza: Foster, Greer y Thorbecke (1984)

investigaciones por autores como: (Alkire, 2007a, 2007b; Alkire et al., 2017; Alkire and Foster, 2011a, 2011b, Alkire and Santos, 2014, 2010; Barrett and Carter, 2013; Hameed et al., 2017), generando el índice de pobreza multidimensional (MPI) y convirtiéndose en la práctica estadística más utilizada para medir pobreza multidimensional a nivel mundial.

En este contexto, el análisis de la pobreza multidimensional utilizando el índice de recuento de Alkire y Foster Ajustado y un análisis de la pobreza por ingresos identificando las determinantes de la pobreza monetaria (Cho & Kim, 2017; Lekobane & Seleka, 2017) con la utilización de los modelos logit de respuesta cualitativa, se presentan como parte de las herramientas metodológicas necesarias en este estudio.

5.2.2. Estrategias basadas en EC

Considerar que los residuos de un proceso productivo son potenciales subproductos o insumos para otro proceso productivo es una de las principales características que resumen el concepto de EC, mismo que está entretejido con varios otros conceptos tales como: simbiosis industrial, eco-ciudad, flujo de materiales y teoría de sistemas (Winans et al., 2017).

En el contexto global, China destaca como uno de los países con mayor evidencia empírica en cuanto a estrategias, iniciativas y casos de estudio referentes al concepto de EC. En países como Alemania, Japón y Reino Unido, el concepto de EC también ha influido en la política e innovación, y en América Latina y el Caribe (ALC) la literatura científica relevante considera a países como Puerto Rico, Brasil y Ecuador (Winans et al., 2017). Entre las métricas para conciliar las dimensiones de la sostenibilidad (social, económica y ambiental) emergentes de las iniciativas basadas en el concepto de EC destacan el análisis del ciclo de vida (Scheepens, Vogtländer, & Brezet, 2016), análisis de entrada-salida residuales (Li, 2012) y análisis costo beneficio (Vega-Quezada, Blanco, & Romero Bonilla, 2017, 2016), entre otros.

El concepto de los eco-parques y las eco-ciudades reflejan en gran parte los casos reales de éxitos y fracasos de iniciativas implementadas bajo el concepto de la EC (Winans et al., 2017), donde el tratamiento de residuos sólidos urbanos y agrícolas para crear productos de valor se presentan como un elemento significativo dentro de los esquemas sistémicos en los flujos circulares propuestos. Lohri et al. (2017) advierte que de manera general, las publicaciones de estudios de casos parecen subrepresentadas para todas las

tecnologías, más la investigación fundamental se orienta a mejorar la comprensión del proceso, donde los aspectos socioeconómicos y de gestión son raramente objeto de la investigación.

En el caso de ALC, las sinergias entre agricultura y bioenergía destacan como un conjunto de iniciativas bajo el concepto de EC, con un interesante potencial económico, ambiental y social a escala bibliográfica, tomando a Ecuador como caso de estudio. En este marco de referencia, se infiere que el análisis costo beneficio es parte del conjunto de herramientas metodológicas pertinentes en este trabajo, a fin de cuantificar las dimensiones sostenibles presentes en el conjunto de iniciativas sistémicas propuestas para Ecuador y descritas en la Figura 10.

5.3. La pobreza y las estrategias basadas en EC en Ecuador

A continuación se presenta el estado del arte referente a la medición de la pobreza y las iniciativas sistémicas bajo el principio de la EC a nivel nacional.

5.3.1. La pobreza en Ecuador

El Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) es el organismo público responsable de la información estadística oficial en Ecuador y dentro del conjunto de indicadores de pobreza disponibles podemos mencionar la pobreza por ingresos, coeficiente de GINI por ingresos, pobreza por consumo, pobreza por necesidades básicas insatisfechas y pobreza multidimensional (INEC, 2017). En armonía con el objeto de estudio y la revisión de la literatura científica enunciada en la sección 5.2, la pobreza por ingresos y la pobreza multidimensional constituyen los indicadores de pobreza a considerar en este trabajo.

Ambos indicadores se generan a partir de la Encuesta de Empleo, Desempleo y Subempleo (ENEMDU) con cobertura nacional y representativa a nivel subnacional, lo que permite generar información regular y estadísticamente significativa. En el caso de la pobreza por ingresos, desde junio del 2006 se calcula a través de una actualización, mediante el Índice de Precios al Consumidor, de la línea oficial de pobreza por consumo, calculada a partir de la Encuesta de Condiciones de Vida–5 Ronda ECV(INEC, 2017).

En el caso de la pobreza multidimensional, el método oficial se desarrolló junto a Oxford Poverty & Human Development Initiative (OPHI) en el año 2015. Las dimensiones de análisis responden a los derechos reconocidos en la constitución del país y se generan indicadores para cada dimensión, priorizando aquellos que permitan establecer una regularidad en cuanto a significancia estadística y frecuencia de disponibilidad (Castillo and Jácome, 2015). El detalle de las dimensiones, pesos, indicadores y población aplicable se describen en la Tabla 11.

Tabla 11. Indicadores del Índice de Pobreza Multidimensional (MPI) en Ecuador

Dimensión	Pesos	Indicador	Población aplicable
Educación – (25%)	8.30%	1. Inasistencia a educación básica y bachillerato	5 a 17 años
	8.30%	2. No acceso a educación superior por razones económicas	18 a 29 años
	8.30%	3. Logro educativo incompleto	18 a 64 años
Trabajo y Seguridad Social – (25%)	8.30%	4. Empleo infantil y adolescente	5 a 17 años
	8.30%	5. Desempleo o empleo inadecuado	18 años y más
	8.30%	6. No contribución al sistema de pensiones	15 años y más
Salud, Agua y Alimentación – (25%)	12.50%	7. Pobreza extrema por ingresos	Toda población
	12.50%	8. Sin servicio agua por red pública	Toda población
Hábitat, Vivienda y Ambiente sano – (25%)	6.25%	9. Hacinamiento	Toda población
	6.25%	10. Déficit habitacional	Toda población
	6.25%	11. Sin saneamiento de excretas	Toda población
	6.25%	12. Sin servicio de recolección de basura	Toda población

Fuente: (Castillo & Jácome, 2015)

5.3.2. Estrategias basadas en EC en Ecuador

Del conjunto de iniciativas sistémicas bajo el principio de la EC en Ecuador destacan las sinergias entre agricultura-bioenergía considerando el tratamiento de residuos urbanos y agrícolas, la producción de biogás, la producción de biodiesel y sus subproductos. Se define un escenario probable y los indicadores económicos, ambientales y sociales asociados con la implementación de este tipo de iniciativas; más los resultados del trabajo de C. A. Vega-Quezada et al. (2016a) se estiman utilizando fuentes de información bibliográfica.

A partir de esta contribución a la literatura científica, nacen iniciativas orientadas a contribuir con evidencia empírica en el campo de la ingeniería de procesos que permita evaluar las sinergias entre agricultura-bioenergía bajo condiciones de operación. Tal es el caso de proyectos de investigación como el RES-396-2016 “Sinergias entre Agricultura y Bioenergía: La producción de Biogás en el Cantón Machala”, desarrollado por el grupo

de investigación Producción de Biocombustibles (PBio) en colaboración con el grupo de Aplicaciones Electroanalíticas en la Universidad Técnica de Machala.

Figura 20. Esquema bioeconómico propuesto en el marco de la Economía Circular

La disponibilidad de residuos biodegradables y la producción de biogás por tonelada de biomasa seca, son parte de los resultados bajo confidencialidad que contribuye a la evidencia empírica actual y permite estimar los indicadores sostenibles presentes en las sinergias entre agricultura-bioenergía propuestas por C. A. Vega-Quezada et al. (2016a), con la diferencia de que las estimaciones consideran datos bajo condiciones de operación y solo para la producción de biogás; por lo tanto, para este trabajo es pertinente reformular el esquema propuesto en la Figura 10, por un conjunto de iniciativas basadas en EC que considere solo la producción de biogás con fines energéticos, el mismo que se describe en la Figura 20.

5.4. Descripción Teórica de la potencial interacción entre la economía circular y la pobreza

Una vez definidos en el apartado anterior el estado del arte de la pobreza y el concepto de EC para ALC, se considera a Ecuador como caso de estudio, ya que cuenta con un conjunto de iniciativas basadas en EC con dimensiones de sostenibilidad cuantificables, así como marcos metodológicos nacionales bien definidos para estimar la condición de pobreza monetaria y pobreza multidimensional a nivel nacional y subnacional. En este contexto es pertinente establecer el marco teórico de referencia descriptivo de la potencial interacción entre la EC y la pobreza.

Boulding (1996), en su capítulo *The Economics of the Coming Spaceship Earth – La Economía de la Nave Espacial que Viene*, define al mundo como un conjunto en el que sus elementos responderían a subconjuntos tales como la economía mundial y todos aquellos objetos de posible discurso en el mundo. Además, define la existencia de sistemas que pueden estar abiertos o cerrados con respecto a una serie de clases de entradas y salidas, donde destaca que tres clases importantes son: materia, energía e información (Boulding, 1996), lo que permite inferir la existencia de un intercambio de clases de entradas y salidas entre los subconjuntos que conforman el mundo. El enfoque de Boulding (1996) se considera como uno de los principales trabajos que dieron inicio al concepto actual de EC, ya que presentó a la tierra como una nave espacial con reservas limitadas de cualquier cosa (factores de producción) y que en la economía del astronauta, la medida esencial del éxito es la naturaleza, el alcance, la calidad y la complejidad del capital total más que el rendimiento económico (George, Lin, & Chen, 2015; Winans et al., 2017).

Al hablar de conjuntos, subconjuntos, intercambio y flujos de entradas y salidas, se evoca a la complejidad⁷ descrita por Morin (2001) y desarrollada en detalle bajo el concepto de sistema⁸. De aquí en adelante, para desarrollar el método en este estudio, se conjugan el enfoque de Boulding (1996) y el concepto de sistemas complejos de (Morin, 2001), donde el conjunto se denomina sistema, los subconjuntos serán subsistemas y el intercambio de

⁷ “La complejidad surge, pues, en el corazón de lo uno a la vez como relatividad, relacionalidad, diversidad, alteridad, duplicidad, ambigüedad, incertidumbre, antagonismo, y en la unión de estas nociones que son complementarias, concurrentes y antagonistas las unas respecto de las otras”(Morin, 2001)

⁸ “El sistema es el ser complejo que, es más, menos, distinto de sí mismo. Está a la vez abierto y cerrado. No hay organización sin anti-organización. No hay funcionamiento sin disfunción...”.(Morin, 2001)

los flujos de entradas y salidas se entenderán como las interacciones entre sistemas, subsistemas y elementos que involucren actividades que suponen un desplazamiento de energía, materia, información y conocimiento (EMIC) descritos a continuación.

Figura 21. Interacciones complejas entre pobreza y las estrategias basadas en CE

Las interacciones EMIC entre los elementos o subsistemas de un sistema mayor involucran las emergencias⁹ de cualidades o propiedades nuevas de la organización global, modificando la condición original del elemento; es decir, el elemento cambia su condición original de B→B'ya que recibió un intercambio de energía de A; luego, este elemento B' usa esta energía y la transforma en materia que es devuelta al elemento A y este, como resultado de la interacción, pasa de A→A'. Este elemento, con esta nueva condición, genera información que intercambia nuevamente y de esta manera se repite el ciclo de las interacciones (A' interactúa con B'y este pasa a →B''). Como resultado de las emergencias generadas por la interacción entre los elementos del sistema, es de esperar la aparición de fenómenos¹⁰ que corresponden a la inhibición o modificación de los rasgos originales del sistema en función de las condiciones y circunstancias de su interacción con el entorno.

⁹ “Se puede llamar emergencias a las cualidades o propiedades de un sistema que presentan un carácter de novedad con relación a las cualidades o propiedades de los componentes considerados aisladamente o dispuestos de forma diferente en otro tipo de sistema.”(Morin, 2001)

¹⁰ De fenon →fenotipo “corresponde a la expresión, actualización, inhibición o modificación de los rasgos hereditarios en un individuo en función de las condiciones y circunstancias de su ontogénesis en un entorno dado.”(Morin, 1983)

En este marco teórico de referencia y considerando a Ecuador como caso de estudio, el presente trabajo espera incorporar evidencia empírica y metodológica que identifique y cuantifique las emergencias de la interacción EMIC entre la pobreza y las estrategias territoriales basadas en EC, que deriven en la existencia fenoménica de cambios en la dinámica de pobreza por ingresos y pobreza multidimensional.

5.4.1. Interacciones entre pobreza y estrategias basadas en EC

En esta sección se desarrolla el concepto de interacciones complejas entre la pobreza y las estrategias basadas en la EC. A partir de la base teórica de la sección anterior, se elabora la Figura 22, donde se observa el esquema de las interacciones presentes en este caso de estudio.

Figura 22. Interacciones Complejas entre Pobreza y Estrategias de EC

El subsistema pobreza se define como un conjunto de elementos referentes a la condición de pobreza. Este subsistema se define con P_i elementos, donde $i=(1,2,3\dots n)$ y P permanece común en todos los elementos, justificado en que el subsistema responde a una característica, condición o estado del ser humano, la cual se explica por el nivel de educación, condición de vida, sexo, etnia, etc. Entre los posibles n elementos, en todos los casos se hace referencia al ser humano como sujeto de estudio.

A diferencia de la pobreza, el subsistema de las estrategias basadas en EC no cuenta con un sujeto de estudio definido ya que, en principio, sus elementos responden a otros

subsistemas, o son el resultado de las emergencias de otros subsistemas. En nuestro caso de estudio, por ejemplo, los MSW son emergencias de subsistemas de asentamientos humanos o elementos de subsistemas de tratamiento de residuos urbanos y el CM es el resultado de las emergencias en el subsistema de producción ganadero. La investigación y desarrollo de la ingeniería de procesos permite integrar elementos que de forma individual se consideran residuos, pero del análisis de los elementos como un todo emergen actividades y elementos, tales como la producción de biogás con fines energéticos y subproductos con valor agregado. En este contexto se define el subsistema de las estrategias basadas en EC con S_s elementos, donde $S = \text{subsistemas}[A, B, C, D \dots N]$ con s -ésimos elementos $[i=k=1 \dots \tilde{n}]$ y $\tilde{n}=(1, 2, 3 \dots n)$.

El intercambio de los flujos EMIC enunciado por Boulding (1996) se identifica como las cantidades de trabajo que provee la población en condición de pobreza; el flujo de materia se devuelve a través de la generación eléctrica y la disponibilidad de fertilizantes. La información es un flujo en ambos sentidos que aborda la transferencia de conocimiento y, la retroalimentación de resultados, la disponibilidad de recursos y materiales. Los flujos de conocimiento se presentan al incorporar mejoras durante el esquema sistémico agricultura-bioenergía en el caso del subsistema de EC, y a nivel de pobreza con una población que replica las estrategias EC en el hogar e incorpora la separación en fuente y aprovechamiento de los MSW como sustituto de la recolección de basura tradicional.

5.5. Metodología y Datos

En este trabajo se plantea un desarrollo metodológico en el que se describe la evolución del índice de pobreza multidimensional (MPI) en Ecuador como caso de estudio. Del análisis subnacional se identifican aquellos territorios con los mayores valores en el MPI utilizando el índice de recuento ajustado de Alkire y Foster (Alkire and Foster, 2011) y sus subíndices consistentes.

Luego de identificar los territorios con mayor MPI, se identifican aquellas variables determinantes que inciden en la condición de pobreza monetaria. Para ello se utilizan los modelos logit de respuesta cualitativa y se toman como referencia las líneas de pobreza y extrema pobreza monetaria disponibles en el boletín estadístico mensual emitido por el INEC.

A continuación se estiman los indicadores de sostenibilidad propuestos por (Vega-Quezada et al., 2016a, 2016b) utilizando el análisis costo beneficio (BCA) con el criterio del Valor Actual Neto (NPV) y la relación costo-beneficio (BCR) en términos públicos y privados para los beneficios económicos; las emisiones equivalentes de CO₂ emitidas y las de posible mitigación considerando los certificados de emisiones reducidas (CER) para los beneficios ambientales; y la cantidad de nuevos puestos de trabajo, emisiones netas de CO₂, oferta energética y los cambios en los ingresos poblacionales para los beneficios sociales.

5.5.1. Pobreza Multidimensional

El análisis del cambio en el índice de la pobreza multidimensional (M_0) así como el cambio en sus dos índices parciales intuitivos: la incidencia (H_T) y la intensidad (A_T), se desarrollan siguiendo la metodología propuesta por Alkire & Foster (2015). M_0 se puede descomponer en subíndices dimensionales consistentes, llamados proporciones de recuento, y estas pueden ser no censuradas y censuradas¹¹.

Utilizando datos de corte transversal se estiman la tasa absoluta anualizada de cambio ($\bar{\Delta}$) y la tasa relativa anualizada de cambio ($\bar{\delta}$) desarrolladas en el trabajo de Alkire et al. (2017) y descritas en las ecuaciones 16 y 17.

$$\bar{\Delta}M_0 = \frac{M_0(X_{t^2}) - M_0(X_{t^1})}{t^2 - t^1} \times 100 \quad (16)$$

Donde, $\bar{\Delta}M_0$ es la tasa absoluta anualizada de cambio en el índice de la pobreza multidimensional. $M_0(X_{t^2})$ es el valor del índice de la pobreza multidimensional en el período t^2 . $M_0(X_{t^1})$ es el valor del índice de la pobreza multidimensional en el período t^1 . Y $t^2 - t^1$ es la diferencia entre los dos periodos de tiempo.

$$\bar{\delta}M_0 = \left[\left(\frac{M_0(X_{t^2})}{M_0(X_{t^1})} \right)^{\frac{1}{t^2 - t^1}} - 1 \right] \times 100 \quad (17)$$

Donde, $\bar{\delta}M_0$ es la tasa relativa anualizada de cambio en el índice de la pobreza multidimensional. $M_0(X_{t^2})$ es el valor del índice de la pobreza multidimensional en el período t^2 . $M_0(X_{t^1})$ es el valor del índice de la pobreza multidimensional en el período

¹¹ “...representan el porcentaje de la población que son pobres y están privados en la dimensión j. Estos son la media del respectivo vector columna de la matriz censurada y se denotan $h_j(k)$. El porcentaje de contribución de la j-ésima dimensión es $(w_j h_j(k)) / M_0$...” (Alkire et al., 2015, 2017)

t^1 . Y $t^2 - t^1$ es la diferencia entre los dos periodos de tiempo. Las ecuaciones 17 y 18 también aplican para estimar los cambios en H_T , A_T y las proporciones de recuento no censuradas y censuradas.

A partir de la disponibilidad de datos de panel, este trabajo aborda una evaluación de las transiciones de la pobreza utilizando la descomposición teórica propuesta por Alkire et al. (2017) con el objeto de identificar si del conjunto de personas en condición de pobreza, las personas menos pobres son aquellas que dejaron la pobreza o si fueron los más pobres. En este contexto se considera una población con cuatro grupos mutuamente excluyentes identificados como subgrupos dinámicos (N: población que no es pobre en ningún período; O: personas que son pobres en ambos periodos; E^- : personas pobres en t^1 pero salen de la pobreza en t^2 ; E^+ : personas no pobres en t^1 pero ingresan a ser pobres en t^2), y a efectos de estimar los cambios en las transiciones en la pobreza, se aplica la siguiente ecuación:

$$\Delta M_0 = \frac{n^0}{n} (M_0(X_{t^2}^0) - M_0(X_{t^1}^0)) - \frac{n^{E^-}}{n} M_0(X_{t^1}^{E^-}) + \frac{n^{E^+}}{n} M_0(X_{t^2}^{E^+}) \quad (18)$$

Donde ΔM_0 es la variación en el índice de la pobreza multidimensional en la población fija utilizando datos de panel; n^0 es la población en el subgrupo O; $M_0(X_{t^2}^0)$ es equivalente a la intensidad de la pobreza en el período t^2 en el subgrupo O; $M_0(X_{t^1}^0)$ es equivalente a la intensidad de la pobreza en el período t^1 en el subgrupo O; n^{E^-} es la población en el subgrupo E^- ; $M_0(X_{t^1}^{E^-})$ es equivalente a la intensidad de la pobreza en el período t^1 en el subgrupo E^- ; n^{E^+} es la población en el subgrupo E^+ ; $M_0(X_{t^2}^{E^+})$ es equivalente a la intensidad de la pobreza en el período t^2 en el subgrupo E^+ .

5.5.2. Determinantes de la pobreza por ingresos

Para identificar las determinantes de la pobreza por ingresos, la herramienta metodológica de uso frecuente en la literatura científica relacionada a Ecuador y ALC, responde a los modelos logit de respuesta cualitativa (Ayllón, Mercader, & Ramos, 2014; Botello, 2013; Geda, de Jong, Kimenyi, & Mwabu, 2005; Leibovich & Núñez, 1999; Paz, 2001; Ponce & Bedi, 2010; Verdú & Rodríguez, 2011).

El objeto del modelo en este trabajo es estimar la probabilidad de ser pobre (P_i) sujeto a un conjunto de variables (X_i) referentes a las condiciones de vida tales como: género,

edad, estado civil, etnia, nivel de estudios, ocupación, características del hogar, ubicación geográfica, fuente de agua. La unidad de estudio es el jefe de hogar, en función del ingreso familiar, donde la ecuación 19 resume la estructura y equivalencia de los componentes generales en un modelo logístico (Gujarati, 2015).

$$Li = \ln\left(\frac{Pi}{1-Pi}\right) = Zi = \beta_1 + \beta_2 Xi \quad (19)$$

Donde Li, el logaritmo de la razón de probabilidades no es solamente lineal en Xi, sino también (desde el punto de vista de la estimación) lineal en los parámetros (β). La justificación en la literatura científica de las variables consideradas en el modelo logit se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12. Variables explicativas, descripción y revisión bibliográfica

Variables	Definición		
Variable Dependiente			
Pobre	Pobre=1 si es pobre, 0 otros Pobreza estimada en base al ingreso familiar per cápita comparado con la línea de pobreza por ingresos.		
Variables Explicativas			
Características del Jefe de Hogar		Id	Revisión de Bibliografía
Sexo	=1 hombre; 0 mujer	SEX	(Geda et al., 2005), (Paz, 2001),
Edad	= años	AGE	(Verdú & Rodríguez, 2011),
Estado civil	=1 casado; 0 otros	MARY	(Botello, 2013), (Leibovich &
	=1 convivencia o unión; 0 otros	NOMARY	Núñez, 1999), (Ayllón et al., 2014)
Etnia	=1 indígena; 0 otros	INDI	(Botello, 2013), (Ponce & Bedi,
	=1 afrodescendiente; 0 otros	AFRO	2010)
	=1 montubio; 0 otros	MONT	
Educación			
Nivel educativo aprobado	=1 sin educación formal.		
	=1 primaria (1-7 años educación formal)	WOUTEDU	(Geda et al., 2005), (Paz, 2001),
	=1 secundaria (8-13 años educación formal)	PRIMAR	(Verdú & Rodríguez, 2011),
	=1 grado universitario con título	SECOND	(Botello, 2013),
	=1 postgrado con título	UNIVERD	(Leibovich & Núñez, 1999), (Ayllón et al., 2014)
	En todas las clases; 0 para otros	POSTGRD	
Ocupación Laboral			
Relación de dependencia	= 1 formal/público; 0 otros	EMPSECGOV	(Geda et al., 2005), (Paz, 2001),
	= 1 formal/privado; 0 otros	EMPSECPRIV	(Verdú & Rodríguez, 2011), (Ayllón et al., 2014)
	= 1 no formal/auto empleo; 0 otros	EMPSECOWN	
	= 1 formal/empleador and 0 otros	EMPSECBOS	
Sector	= 1 formal/no formal en agricultura; 0 otros	OCCHH	(Botello, 2013; Geda et al., 2005)
Características del Hogar			
# miembros	Cantidad de personas en el hogar	HSIZE	
Dependientes	Personas mayores de 65 años	OVE65AGE	(Paz, 2001), (Botello, 2013), (Ayllón et al., 2014)
	Personas menores de 14 años	UND14AGE	
Perceptores	Personas con ingresos monetarios	HEARNER	
Área de residencia	=1 vive en alguna provincia fronteriza; 0 otros	LOCAL	(Geda et al., 2005), (Verdú & Rodríguez, 2011),
			(Botello, 2013), (Leibovich & Núñez, 1999)
Servicios públicos	=1 recibe agua por red pública; 0 otros	WATER	(Botello, 2013), (Ayllón et al., 2014)

Con aquellas variables estadísticamente significativas, se identifican aquellas que presenten un importante potencial de reducción de la pobreza por ingresos, y son susceptibles de verse afectados al implementar iniciativas basadas en EC como la propuesta en este estudio.

5.5.3. Sinergias Agricultura-Bioenergía

Para el cálculo de los indicadores económicos, ambientales y sociales se consideran los fundamentos metodológicos empleados en el estudio de Vega-Quezada et al., (2017,2016) con la diferencia de que el ciclo circular analizará la dinámica del tratamiento de los residuos urbanos y agrícolas con fines energéticos a partir de la producción de biogás por co-digestión anaeróbica de residuos sólidos municipales (MSW) y estiércol de ganado (CM) bovino, así como los subproductos (electricidad, fertilizante líquido y fertilizante sólido). La información referente a la producción de biogás bajo condiciones de operación que se aplica en este estudio responde a los resultados confidenciales del proyecto RES-396-2016. Entre los beneficios sociales destaca la creación de puestos de trabajo formal, con la consideración de un ingreso neto mensual de \$400 dólares (\$6000 anual), lo que permite inferir una mejora en los ingresos familiares de aquella población que participe en la iniciativa propuesta. Se establecen las siguientes consideraciones para cuantificar los cambios en la condición de pobreza:

- El software de trabajo es el STATA 14. La unidad de análisis de población es el jefe de hogar. Se dirige la política de desarrollo local a aquellos territorios subnacionales que presenten los menores avances en la reducción de la pobreza multidimensional. Solo aquellos jefes de hogar con ingresos menores a \$400 dólares estarán incentivados a cambiar su ocupación actual por el nuevo empleo.
- Pobreza monetaria: Con los datos disponibles y considerando los valores referentes a la línea de pobreza y pobreza extrema, se establecen tres tipos de clasificación: no pobreza, pobreza y pobreza extrema. La tipología de la condición de pobreza en la situación actual se registra en la variable t_p mientras que una vez que se implementa la iniciativa sistémica propuesta se genera una nueva tipología de la condición de pobreza almacenada en la variable t_p2. El impacto generado por el cambio en la condición de pobreza se transfiere al nivel de población, mejorando la situación de pobreza del entorno familiar alrededor del jefe de familia.

- **Pobreza multidimensional:** El impacto en los jefes de hogar por el empleo formal y mejora de su ingreso, implica un cambio en la condición de desempleo o empleo inadecuado, su condición de no contribución al sistema de pensiones, su condición de extrema pobreza por ingresos y, en el caso de la recolección de basura, cambia la condición del jefe de hogar y todo su entorno ya que a efectos de aprovechar los residuos urbanos del hogar, estos se reciclan y se incluyen dentro del conjunto sistémico de iniciativas propuesto.

5.5.4. Datos

El conjunto de datos de corte transversal y datos de panel disponibles para este trabajo corresponden a la información oficial disponible en Ecuador, considerando un período de estudio desde 2009 hasta 2016, utilizando ENEMDU de frecuencia trimestral y los datos del último trimestre de cada año. Los datos de panel disponibles corresponden a los periodos (2009-2010, 2011-2012, 2013-2014, 2015-2016). En el año 2014 se incorpora un territorio subnacional (Galapagos) y se incrementa el tamaño muestral de los territorios subrepresentados; por lo tanto, los subperíodos de estudio corresponden al 2009-2013 y 2014-2016 para los datos de corte transversal y al subperíodo 2015-2016 para los datos de panel.

5.6. Resultados

5.6.1. Pobreza Multidimensional

Con los datos de corte transversal se realizó un análisis exhaustivo a nivel subnacional; la desagregación de los resultados se presentan como material suplementario. Durante el período 2009-2013 la MPI en Ecuador se redujo 0.021 por año frente a una reducción del 0.006 anual durante el período 2014-2016 en términos absolutos y, en términos relativos, del -8.6% y -3.5% respectivamente. La Figura 23 presenta las variaciones del MPI a nivel subnacional durante los períodos de estudio. En esta Figura se observa que en general, el MPI disminuyó en todos los territorios a nivel subnacional, más la línea de tendencia de datos permite inferir que durante el período 2009-2013 aquellos territorios de mayor pobreza multidimensional tuvieron las mayores reducciones absolutas en el MPI; mientras que durante el período 2014-2016 se presenta una tendencia a reducir la pobreza multidimensional en términos absolutos equivalentes entre todos los territorios.

Figura 23. Cambios en la pobreza multidimensional en los periodos 2009-2013 / 2014-2016

El MPI es el resultado del producto entre la incidencia (H_T) y la intensidad (A_T) de la pobreza multidimensional. A nivel nacional, durante el 2009-2013, el cambio absoluto en H_T fue de -3.2 equivalente a una tasa de cambio de -6.9%; el cambio absoluto en A_T fue de -0.9 equivalente a una tasa de cambio de -1.8%. Durante el 2014-2016 el cambio absoluto en H_T fue de -1.1 equivalente a una tasa de cambio de -3.1%; el cambio absoluto en A_T fue de -0.2 equivalente a una tasa de cambio de -0.4%. Durante todo el período de análisis se observa una reducción de MPI como resultado de una disminución de H_T y A_T .

En la Figura 24 se presentan los cambios en cada uno de los componentes del MPI a nivel subnacional y para cada subperíodo de estudio. Se observa que durante el período 2014-2016 la dispersión en la reducción de H_T y A_T es mayor con respecto al período 2009-2013, donde se identifican aquellos territorios vulnerables en cuanto a reducción del MPI, destacando algunos territorios de frontera (Esmeraldas, Napo, Sucumbios y Zamora Chinchipe).

Figura 24. Cambios en la incidencia-intensidad de la pobreza en los periodos 2009-2013 / 2014-2016

A continuación se presenta la Tabla 13, con la descomposición de M_0 en sus proporciones de recuento y sus respectivas contribuciones a los cambios anuales absolutos a nivel nacional.

Tabla 13. Cambios Anuales Absolutos y contribución a los cambios en MPI_T

Dimensiones/Indicadores	Proporciones de recuento		Proporciones de recuento censuradas		Contribución cambios absolutos MPI	
	2009-13	2014-16	2009-13	2014-16	2009-13	2014-16
1.1 Inasistencia a educación básica y bachillerato	-1.62	-0.94	-1.78	-0.63	7.18%	8.51%
1.2 No acceso a educación superior por razones económicas	-0.42	1.06	-0.36	0.75	1.44%	-10.16%
1.3 Logro educativo incompleto	-1.30	-1.73	-2.79	-1.15	11.29%	15.55%
2.1 Empleo infantil y adolescente	-1.45	0.83	-1.40	0.64	5.68%	-8.68%
2.2 Desempleo o empleo inadecuado	-2.34	3.81	-2.84	-0.10	11.50%	1.29%
2.3 No contribución al sistema de pensiones	-3.16	1.04	-3.26	-0.26	13.21%	3.49%
3.1 Pobreza extrema por ingresos	-1.70	0.52	-1.63	0.36	9.91%	-7.39%
3.2 Sin servicio de agua por red pública	-1.74	-3.29	-2.07	-2.67	12.56%	54.21%
4.1 Hacinamiento	-1.40	-0.93	-1.45	-0.75	4.41%	7.64%
4.2 Déficit habitacional	-2.30	-1.85	-2.88	-1.75	8.75%	17.72%
4.3 Sin saneamiento de excretas	-1.77	-0.89	-2.19	-0.79	6.63%	8.06%
4.4 Sin servicio de recolección de basura	-2.52	-0.95	-2.45	-0.96	7.44%	9.76%

Note: Todos los cambios son estadísticamente significativos al $\alpha=0.01$

De la Tabla anterior se observa que durante el período 2009-2013 todas las privaciones disminuyeron, mientras que en el período 2014-2016 existen tres privaciones que se incrementan (1.2 , 2.1, 3.1), más por la importante reducción en el déficit de agua por red pública (54.24%) y habitacional (17.72%), el MPI disminuye. El detalle completo del

análisis con datos transversales a nivel subnacional se presentan en el apéndice A (Tablas A.1–A.8).

Con los datos de panel se realizó la evaluación de las transiciones de la pobreza multidimensional a nivel nacional. Se estima que el cambio en la intensidad de quienes permanecen en la pobreza (ΔM_0^O) es de -0.10%, el cambio en la intensidad de aquellos que salen de la pobreza (ΔM_0^{E-}) es de 3.82% y el cambio en la intensidad de aquellos que entran en la pobreza (ΔM_0^{E+}) es de 3.79%.

El cambio, usando datos de panel, el M_0 es de -0.13% en Ecuador, lo que permite inferir una reducción consistente de la pobreza multidimensional ya que a pesar de que solo aquellos que son menos pobres tienden a salir de la pobreza, aquellos que son pobres en ambos periodos disminuyen la intensidad en las privaciones en mayor proporción (sobre el 70%) con respecto al cambio total.

Figure 25. Cambios en la pobreza Multidimensional usando datos de panel

A nivel subnacional, la Figura 25 presenta los cambios en ΔM_0^O , ΔM_0^{E-} y ΔM_0^{E+} considerando aquellos territorios cuyo ΔM_0 es estadísticamente significativa en el período 2015-2016; además, se observa que a medida en que disminuye la diferencia entre la intensidad de quienes salen en la pobreza multidimensional Vs. quienes entran en ella, la intensidad de la pobreza multidimensional de aquellos que son pobres en ambos periodos se incrementa. En conformidad con los resultados presentados en el análisis con datos de

corte transversal, se observa que los territorios que presentan incrementos en la intensidad corresponden a los territorios de la frontera sur (El Oro, Loja, Zamora Chinchipe, Morona Santiago, Orellana, Pastaza, Napo y Sucumbíos) de Ecuador. El detalle completo del análisis con datos de panel se presentan en el apéndice B (Tablas: B.1–B.9) .

5.6.2. Pobreza por ingresos

Los modelos logit de respuesta cualitativa para identificar los determinantes de la pobreza por ingresos se construyeron a nivel nacional y, para la frontera sur, considerando los años 2014, 2015 y 2016. Los modelos a nivel nacional incorporan la variable explicativa LOCAL*¹² con el objeto de presentar las diferencias estadísticamente significativas entre los territorios de frontera y los resultados nacionales. La Tabla 14 resume los principales indicadores de calidad de ajuste del modelo por año y por ámbito territorial.

Tabla 14. Indicadores de Calidad de Ajuste de los modelos

Años	Cobertura Territorial	Pseudo R2 / Mc Fadden's R2	Count R2 / Correcta Clasificación	Área bajo curva ROC	Ratio de predicción
2014	Nacional	0.3051	0.8349	0.8564	0.1214
	Frontera Sur	0.3471	0.8284	0.8720	0.1592
2015	Nacional	0.2717	0.8213	0.8415	0.1380
	Frontera Sur	0.3132	0.8178	0.8550	0.1826
2016	Nacional	0.2710	0.8199	0.8390	0.1375
	Frontera Sur	0.3070	0.8060	0.8524	0.2056

En general, el grado de ajuste de los modelos es aceptable. De los resultados nacionales, y a excepción de la provincia de El Oro que presenta efectos marginales de -2% en promedio, destacan efectos marginales que incrementan la probabilidad de que los jefes de hogar en los territorios de frontera, estén en condición de pobreza. Los modelos a nivel de frontera reflejan la diversidad de las dinámicas territoriales y sus efectos marginales en la condición de pobreza por ingresos en el tiempo; esta diversidad se presenta en la Figura 26.

Los efectos marginales a nivel de frontera sur mantienen la orientación (incrementar/disminuir) con respecto a los resultados nacionales, con diferencias en cuanto a cantidad y significancia estadística. Entre las variables explicativas que incrementan la probabilidad de estar en condición de pobreza por ingresos en la frontera sur, destacan el ser indígena y ser mujer, atribuido al fenómeno de brechas salariales por

¹² LOCAL1*, corresponds (Loja, Zamora, Morona Santiago, Pastaza, Orellana, Sucumbíos and Napo); LOCAL2*, corresponds (El Oro); LOCAL3*, corresponds (Esmeraldas and Carchi).

etnia y por género (Botello, 2013; Galvis, 2010; Ponce & Bedi, 2010; Rivera, 2013). Las variables referentes al nivel educativo destacan con importantes incrementos en la condición de pobreza al contar solo con instrucción primaria, secundaria o no tener instrucción, frente a una potencial reducción por contar con estudios universitarios acorde a la premisa de que la educación se muestra como una de las mejores protecciones frente a la pobreza, ya que los aumentos en el stock de capital humano de las personas les permite ser más productivos y rentabilizar así sus retornos en el mercado laboral (Botello, 2013; García-Suaza, Guataquí, Guerra, & Maldonado, 2009).

Figure 26. Cambios en los efectos marginales en la condición de pobreza por ingresos

Del conjunto de variables explicativas que orientan una disminución de la probabilidad de estar en condición de pobreza monetaria, destaca la condición laboral con un empleo a nivel de gobierno, privado y autónomo: actividades que involucren un trabajo formal, acceso a la seguridad social y estabilidad, lo que establece un entorno ocupacional ideal para la disminución de la pobreza (Ayllón et al., 2014; Botello, 2013; Leibovich & Núñez, 1999). Un trabajo por cuenta propia sujeto a la informalidad presenta un probable

incremento en la condición de pobreza por ingresos, siendo pertinente comentar que el trabajo en el sector agrícola presenta condiciones vulnerables de entrar en condición de pobreza con efectos marginales de 0.10 aproximadamente. El detalle y análisis de los modelos logísticos se presentan en apéndice C (Tablas C.1– C.3).

5.6.3. Sinergias Agricultura-Bioenergía

Una vez definida la frontera sur de Ecuador como el territorio a implementar las estrategias basadas en EC, se estiman los indicadores de sostenibilidad y el análisis costo beneficio de las sinergias agricultura-bioenergía en el marco de la producción de biogás y aprovechamiento de subproductos, lo cuales se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15. Indicadores de sostenibilidad en las sinergias agricultura-bioenergía

Descripción	Tasa de descuento		Unidades
	6.48%	8.84%	
Indicadores Económicos			
(+) Ingresos por ventas de Electricidad	38.86	34.18	\$ millones
(-) Biodigestores + Generadores Eléctricos	386.08	366.78	\$ millones
(-) Mantenimiento y operación	12.95	11.34	\$ millones
(-) Costos Laborales biodig. + generación eléctrica	4595.20	4011.45	\$ millones
(+) Fertilizantes Líquidos	6318.40	5515.74	\$ millones
(+) Fertilizantes Sólidos	577.96	504.54	\$ millones
Costo de Oportunidad			
(+/-) Emisiones de CO ₂ – MSW	2.23	1.94	\$ millones
(+/-) Emisiones de CO ₂ – Manejo del estiércol	0.20	0.18	\$ millones
(+/-) Emisiones de CO ₂ – Combustión de Biogás	0.28	0.24	\$ millones
Distribución de utilidades a empleados	300.31	263.43	\$ millones
Indicadores Ambientales			
Emisiones de CO ₂ – MSW	9.35		\$ millones
Emisiones de CO ₂ – Manejo del estiércol	0.86		\$ millones
Emisiones de CO ₂ – Combustión de Biogás	1.17		\$ millones
Emisiones Totales de CO ₂	11.39		millones ton
Disponibilidad de fertilizantes líquidos	6449.00		millones litros
Disponibilidad de fertilizantes sólidos	1.95		millones ton
Indicadores Sociales			
Producción Eléctrica	1836.48		GWh
Potencia Eléctrica	35.41		MW
Nuevos empleos	99081		personas
Requerimientos de Agua	6.45		millones m ³
Uso de tierra disponible	50.00		hectáreas
Análisis Costo Beneficio			
VAN Privado	1205.71	987.56	\$ millones
BCR Privado	2.26	1.85	veces
Inversión Privada + Capital de trabajo	534.34		\$ millones
VAN Público	224.25	162.57	\$ millones
BCR Público	1.35	0.98	veces
Inversión Pública	166.54		\$ millones

En el conjunto de indicadores económicos se identifican las principales actividades (ingresos/costos) en la producción de biogás. El biodigestor prototipo bajo condiciones de operación en campo realizó una digestión anaerobia en dos fases, con capacidad de una tonelada de MSW, un tiempo de retención aproximado de 30 días y una producción de 150 m³ de biogás con un rendimiento mayor al 70% de CH₄/m³ de biogás en promedio según los resultados proporcionados por el grupo PBio obtenidos en el proyecto RES-396-2016.

A diferencia de los resultados presentados por Vega-Quezada et al. (2016b), este trabajo desarrolla los costos de la generación eléctrica y cuantifica los beneficios potenciales por los subproductos; además, cuantifica la cantidad y el costo de oportunidad en términos monetarios de las emisiones equivalentes de CO₂ de los MSW. También se cuantifican los ingresos potenciales de los empleados al recibir el 15% de los beneficios antes de impuestos, establecidos como mecanismo de redistribución de la riqueza en Ecuador.

En el conjunto de indicadores ambientales destaca la disponibilidad de los potenciales fertilizantes (líquidos/sólidos) resultado de la co-digestión anaerobia de MSW+CM en la producción de biogás con fines energéticos. Al implementar ensayos no controlados al uso de estos fertilizantes en una explotación de cacao variedad CCN-51 en Ecuador, se identificó mediante observación que los fertilizantes sólidos incrementaron el crecimiento ($\approx 5\%$) y redujo los efectos del estrés de trasplante, mientras que el fertilizante líquido a nivel foliar incremento la floración ($\approx 15\%$).

En el conjunto de indicadores sociales, se presentan la producción de energía, el empleo requerido, la demanda de agua requerida en la co-digestión de MSW+CM y la superficie requerida para los biodigestores, considerando una ocupación de 10 m² por unidad.

En el conjunto de indicadores del análisis costo beneficio, se desagregan los resultados en términos privados y públicos; acorde al escenario descrito por Vega-Quezada et al. (2016a, 2016b), se considera un financiamiento del 80% de la inversión en equipamiento con fondos públicos con un pago libre de capital e impuestos a la renta (22%) durante los primeros 5 años; como complemento, se evalúa un entorno conservador durante el flujo de caja de la propuesta, en el que se incorpora el evento extremo de requerir un capital de trabajo equivalente a los costos operativos del primer año de actividad.

5.7. Discusión

5.7.1. Implicaciones Políticas

Las interacciones complejas previstas en este caso de estudio estiman un cambio en la condición de pobreza; por lo tanto, con los resultados disponibles es posible inferir que al implementar la estrategia circular en la zona de frontera sur de Ecuador, se estiman 99081 nuevos puestos de trabajo, que serán orientados hacia aquellos jefes de hogar en condición de pobreza dentro del territorio. Las emergencias del subsistema EC permiten incrementar la oferta energética en 1836 Gwh, así como los flujos de fertilizantes en 6449 millones de litros y 1.95 millones de toneladas, a la vez que transfiere las remuneraciones. Las mejoras en codigestión MSW+CM así como mezclas alternativas son los flujos de información entre los subsistemas, consolidando el conocimiento en la capacidad de los jefes de hogar para replicar las iniciativas de EC a nivel de hogar.

En el marco de los hacedores de políticas, las estrategias basadas en EC deben orientarse a aquellos jefes de hogar dentro de la frontera sur de Ecuador en función de su vulnerabilidad en cuanto a los indicadores de la pobreza multidimensional y pobreza por ingresos, especialmente a quienes desarrollan un empleo inadecuado y sin cobertura de seguridad social (en respuesta a las determinantes de mayor efecto marginal probable orientado hacia disminuir la pobreza por ingresos), y considerar aquellos hogares con cuatro o más miembros ya que responde al promedio de integrantes por familia a nivel nacional. Bajo estas premisas de vulnerabilidad a nivel de jefes de hogar, la Tabla 16 presenta la estimación de los cambios fenoménicos en la condición de pobreza por ingresos al implementar las estrategias basadas en EC.

Tabla 16. Cambios en la condición de pobreza por ingresos

Jefes de Hogar		t_p2		
t_p		Extremo pobre	Pobre	No pobre
Extremo pobre		258545	20820	14683
Pobre		-	519533	16778
No pobre		-	-	3552910
Total		258545	540353	3584371
Población		t_p2		
t_p		Extremo pobre	Pobre	No pobre
Extremo pobre		1236992	140353	64437
Pobre		-	2282220	79942
No pobre		-	-	12792961
Total		1236992	2422573	12937340

De las 99081 nuevos empleos, los jefes de hogar son 90227 bajo las premisas de vulnerabilidad. A nivel de jefes de hogar, se prevé una reducción en la condición de pobreza de 52281 personas, de los cuales 31461 abandonan la condición de pobreza por ingresos, mientras que 20820 cambian su condición de extrema pobreza a pobreza por ingresos. A nivel de población se espera un cambio en la condición de pobreza de 284732 personas, de las cuales el 50.71% abandona la condición de pobreza y el resto reduce su vulnerabilidad al cambiar de extrema pobreza a pobreza por ingresos. Estos fenómenos sistémicos son estadísticamente significativos ($\alpha=0.01$) y son equivalentes a pasar del 22.92% al 22.05% en pobreza y del 8.69% al 7.45% en extrema pobreza por ingresos en el 2016 como resultado de implementar estrategias basadas en EC.

En el caso de los cambios fenoménicos en la condición de pobreza multidimensional la Tabla 17 presenta los principales resultados y las variaciones en términos absolutos y relativos.

Tabla 17. Cambios en la condición de pobreza multidimensional

Descripción	2016	2016_CE	Cambios Absolutos	Cambios Relativos
Pobreza Multidimensional (MPI)	0.169	0.1649	-0.0041	-2.43%
Incidencia – pobreza multidimensional (H)	0.351	0.3461	-0.0049	-1.40%
Intensidad – pobreza multidimensional (A)	0.4815	0.4763	-0.0052	-1.08%
2.2 Desempleo o empleo inadecuado	0.324	0.317	-0.0070	-2.16%
2.3 No contribución al sistema de pensiones	0.304	0.297	-0.0070	-2.30%
3.1 Pobreza extrema por ingresos	0.081	0.068	-0.0130	-16.05%
4.4 Sin servicio de recolección de basura	0.12	0.11	-0.0100	-8.33%
Personas pobres multidimensionales(miles)	5825	5744	-81	-1.39%

A nivel nacional se observa una reducción de MPI en 0.4 puntos porcentuales en términos absolutos, equivalentes a una reducción relativa de 2.43%. Entre las proporciones de recuento censuradas que disminuyen destacan el empleo inadecuado, la contribución al sistema de pensiones, la extrema pobreza por ingresos y la recolección de basura. En cuanto al número de personas en condición de pobreza multidimensional, se estima una disminución aproximada de 81000 personas.

En este estudio los cambios fenoménicos en la pobreza multidimensional y la pobreza por ingresos, como resultado de las interacciones complejas entre la estrategias basadas en EC y la condición de pobreza, se limitan a la emergencia de los nuevos puestos de trabajo. El análisis de los cambios en la condición de pobreza de aquellos jefes de hogar ocupados en la agricultura que pueden reducir costos de producción e incrementar rendimientos a

consecuencia de la disponibilidad de fertilizantes líquidos y sólidos, es una importante línea de trabajo para investigaciones futuras.

Es importante destacar que los resultados presentados en este estudio se limitan al entorno del caso de estudio. El aporte metodológico y la evidencia empírica que incorpora puede considerarse como un punto de partida en torno a la identificación y cuantificación de las emergencias alrededor de las interacciones complejas entre la EC y la pobreza; a partir de herramientas metodológicas como el análisis del ciclo de vida (Scheepens et al., 2016) y el análisis de entrada-salida residuales (Li, 2012) es posible aportar nueva información relevante en virtud de la limitación a la cuantificación monetaria de las actividades sujetas al análisis costo-beneficio.

En armonía con el criterio de Winans et al. (2017) para alcanzar una exitosa implementación del concepto de EC, el aporte metodológico y evidencia empírica en este estudio orienta a que los participantes dentro del flujo circular tengan una idea clara de los beneficios económicos potenciales, las disparidades sociales, la reducción de residuos, carga ambiental y aprovechamiento de los materiales. Sin embargo, sin un marco de evaluación, instrumentos de política (subvenciones, incentivos fiscales), objetivos claros y sin la participación del gobierno, industria y comunidad, las iniciativas basadas en EC y los cambios fenoménicos en las dinámicas de pobreza difícilmente ocurrirán.

6. El potencial de las sinergias agricultura-bioenergía como políticas de desarrollo binacional en la frontera Ecuador-Perú

6.1. Un sistema circular sostenible en la ZIF Ecuador-Perú

En el contexto de un desarrollo sostenible a largo plazo, este capítulo aborda un estudio de caso en el marco de las iniciativas sistémicas y bioeconómicas presentes en la Figura 10 y objeto de estudio en este trabajo. En función de los indicadores de sostenibilidad presentes en la ZIF Ecuador-Perú, se cuantifican las interacciones presentes entre el uso de residuos urbanos, residuos agrícolas, producción de biogás-biodiesel y el aprovechamiento de los subproductos.

El conjunto de herramientas cuantitativas aplicadas responde al inventario metodológico desarrollado a lo largo de este trabajo, con la adición de los resultados bajo condiciones de operación breve de los fotobiorreactores laminares, los resultados de la caracterización y disponibilidad de los residuos urbanos y los resultados en la producción de biogás. Adicional al análisis costo-beneficio, se considera un análisis multicriterio incorporando las dimensiones ambientales y sociales, al igual que la evaluación cualitativa de la predisposición de los tomadores de decisión a implementar iniciativas basadas en las sinergias agricultura-bioenergía como una estrategia de desarrollo.

6.2. La producción de Biogás

El esquema recomendado propone la producción de biogás por co-digestión de los residuos urbanos orgánicos municipales (MSW) con estiércol de vaca (CM) de las granjas. Se debe identificar el inventario de ganado en el ZIF Ecuador-Perú y el método de Kellogg et al., (2000) para obtener unidades animales existentes con base en información histórica para proyectar el inventario de ganado hasta el año 2028, fecha trascendente ya que coincide con el trigésimo aniversario de la firma del acuerdo de paz entre las dos naciones. Con el inventario de ganado proyectado, se pueden estimar las emisiones equivalentes de CO₂ correspondientes a la gestión del estiércol de ganado (EPA, 2013).

Figura 27. Inventario de ganado y emisiones de CO₂ equivalente del ZIF Ecuador-Perú
Fuente: (INEC, 2014b; INEI, 2014b), formulada por los autores

El eje izquierdo en la Figura 27 muestra el inventario de ganado en el ZIF Ecuador-Perú representado por las columnas y expresado en millones de unidades animales. El eje derecho muestra la equivalencia de este inventario de ganado en millones de toneladas de CO₂ representado por las líneas en la parte superior de la Figura. La información histórica común de ambas naciones se extiende de 2004 a 2014. La proyección hasta 2028 se realiza considerando una tasa de variación anual equivalente según en los datos históricos disponibles.

El total estimado de emisiones de CO₂ equivalente para el ZIF Ecuador-Perú es de 53.69 millones de toneladas durante 2014-2028. Con una estrategia de mitigación, esta cantidad podría convertirse en ingreso monetario dependiendo del precio de mercado a largo plazo para certificados de emisiones reducidas (CER), así como la tasa de descuento aplicable al costo del dinero en el tiempo. En este estudio se consideraron dos tasas de descuento basadas en el costo del dinero en Ecuador referentes al crédito comercial y corporativo, respectivamente (8.64% -6.48%) (BCE, 2013). Por lo tanto, con la mitigación de las emisiones de CO₂ en el ZIF Ecuador-Perú, el ingreso estimado para su intercambio en créditos de carbono estaría entre \$ 134.94 millones y \$ 155.74 millones.

Además de la estimación de las emisiones de CO₂ equivalente, debe cuantificarse la cantidad de electricidad que se puede producir a partir de la co-digestión de residuos urbanos y agrícolas. Así, las toneladas de estiércol se convierten en kilovatios por hora (Cuéllar & Webber, 2008).

Figura 28. Potencial energético e ingresos por ventas de energía en el ZIF Ecuador-Perú
Fuente: (Cuéllar & Webber, 2008; INEC, 2014b; INEI, 2014b), formulada por los autores

La Figura 28 muestra el potencial de generación de biogás, expresado en millones de kilovatios por hora, de la co-digestión de residuos urbanos y estiércol. La eficiencia del motor generador de electricidad durante la combustión del biogás puede estar entre 25% y 40%. Además de la cantidad de energía producida, el kilovatio por hora se convirtió en unidades monetarias expresadas en millones de dólares, multiplicando la producción de energía por el precio unitario de venta por kilovatio hora en las centrales eléctricas de Ecuador (CNEL, 2016).

La generación acumulativa estimada de electricidad para 2015-2028 en el ZIF Ecuador-Perú, expresada en miles de gigavatios-hora (GWh), varía entre 52.57 y 32.86 dependiendo de la eficiencia de los motores generadores de electricidad. Esta producción de energía equivale a una disponibilidad anual de entre 4300 GWh y 2700 GWh con un ingreso acumulado adicional para el sector eléctrico entre \$ 1079.18 millones y \$ 586.77 millones durante el período analizado.

La combustión de biogás para generación eléctrica emite CO₂; por lo tanto, estas emisiones y su equivalencia monetaria deben estimarse porque su equivalencia representa una reducción de la mitigación neta de las emisiones de CO₂ del esquema propuesto.

Figura 29. Emisión de CO₂ de la combustión de biogás y su equivalencia monetaria en el ZIF
Fuente: (Cuéllar & Webber, 2008; INEC, 2014b; INEI, 2014b), formulada por los autores

Al respecto, el lado izquierdo de la Figura 29 muestra las emisiones de CO₂ generadas por la combustión del biogás. Las emisiones se expresan en millones de toneladas de CO₂ y dependen del nivel de eficiencia del motor. En Ecuador y Perú, cuanto menos eficiente sea el motor, más altas serán las emisiones de CO₂. Las emisiones acumuladas de CO₂ estimadas entre 2015 y 2028 en la ZIF Ecuador-Perú varían entre 33.63 millones de toneladas y 39.26 millones de toneladas, y la cantidad equivalente al costo de oportunidad para generar emisiones durante el mismo período varía entre 82.26 millones y 112.18 millones de dólares.

El biogás resultante de la co-digestión de una mezcla de residuos orgánicos urbanos y estiércol fue estudiado en condiciones operativas. Se planificó el muestreo estratificado por conglomerados de 1000 sacos de basura recogidos el último día hábil de la semana para caracterizar los residuos urbanos en la ZIF Ecuador-Perú. Dado el costo y la limitación presupuestaria, las muestras fueron recolectadas en la ciudad de Machala, El Oro, Ecuador, debido a que esta ciudad tiene la población más grande dentro de la ZIF en Ecuador. Esta área es también la sede del Plan Binacional de Desarrollo de la Región Fronteriza Ecuador-Perú (capítulo Ecuador), una organización internacional creada a partir del tratado de paz. Esta organización es responsable de la planificación, ejecución y evaluación de políticas, programas y proyectos que benefician a la ZIF.

6.2.1. Caracterización de los MSW y emisiones equivalentes de CO₂

Como resultado de la caracterización de los MSW en la ciudad de Machala, como área de estudio a nivel local, se presenta la Figura 30.

Figure 30: Caracterización de MSW por tipología y estrato

En la figura anterior se observa el porcentaje medio por tipología de residuos en cada uno de los seis estratos de muestreo. El contenido de residuos orgánicos dentro de los MSW bordea el 45% destacando los estratos E y F con las mayores proporciones y el estrato D con la menor proporción. Estos resultados se explican en el caso del estrato D al representar el área comercial de la ciudad con baja densidad residencial; por ello, el porcentaje medio de papel y plástico es el más elevado. La tabla 18 presenta los resultados generales para todo el conjunto de estratos muestreados.

Tabla 18. Resumen y Caracterización de los MSW

Descripción	Total	Orgánico	Papel/ Cartón	Vidrio	Plástico	Otros / No Orgánicos
Kilogramos (Kg)	5089.95	2242.27	1067.73	413.36	927.47	436.88
Porcentaje (por peso)	100.00%	44.05%	20.98%	8.12%	18.22%	8.58%
Promedio por bolsa (Kg / bolsa)	5.41	2.39	1.14	0.44	0.99	0.46
Unidad de muestreo (hogares)	940.00	Bolsas plásticas				

En promedio, por cada bolsa de MSW de 5.41kg se generan 2.39kg de residuos orgánicos. De acuerdo a la empresa pública de aseo EMAM-EP¹³ se gestionan, en promedio, 250 toneladas de MSW por día, equivalentes a 0.93 Kg/hab/día acorde al promedio de ALC (IDB, 2015).

6.2.2. Sistema experimental

Para seleccionar las condiciones analíticas óptimas para el análisis cromatográfico, se consideró la resolución y el número de picos del cromatograma. Si el número de picos que aparecía en el cromatograma coincide con el número de componentes del patrón inyectado (igual al número de componentes esperados), la calidad del cromatograma se evaluó entonces por su resolución; si el cromatograma coincidió con el número de picos esperados y su calidad, se consideró entonces en función del tiempo de análisis.

Figure 31. Cromatograma de CO₂ estándar a 1000 ppm y CH₄ a 5000 ppm de concentración

En la Figura 31 se muestra un cromatograma obtenido para la separación de CO₂ y CH₄ presentes en la mezcla estándar. En ella se puede observar que para el caso del CO₂ el tiempo de retención para este gas en las condiciones cromatográficas estudiadas es de 5,99 minutos, un área de pico de 15602 uV.s, y corresponde a 1000 ppm de concentración.

¹³ La Empresa Pública Municipal de Aseo de Machala EMAM-EP, es una entidad de derecho público, creada mediante ordenanza municipal. <http://www.emamep.gob.ec/servicios.php>

Para el caso del CH₄ el tiempo de retención fue de 3,40 minutos, un área de pico de 78425 uV.s, y corresponde a 5000 ppm de concentración. Al dividir las áreas de pico del CH₄ con respecto al CO₂, se corrobora la relación 5 a 1 en lo referente a las concentraciones de estos dos gases de efecto invernadero.

6.2.3. Evaluación del proceso de digestión anaeróbica en la primera etapa

En la Tabla 19 se muestran los valores promedio de los porcentajes de CO₂ y CH₄ que fueron obtenidos durante la primera fase de la digestión anaerobia de los tres tipos de mezcla de biomasa estudiada en reactores anaeróbicos discontinuos luego de 12 días de experimentación. En ella se puede observar que el Reactor 1C fue el que produjo mayor porcentaje de metano.

Tabla 19. CO₂ y CH₄ obtenido durante la digestión anaerobia por tipos de mezcla

Días	Reactor1A		Reactor1B		Reactor1C	
	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)
12	96,53%	3,47%	98,89 %	1,11%	86.47%	13.33%

Esto puede ser corroborado por la Figura 32, donde se muestran los cromatogramas de los reactores 1A, 1B y 1C respectivamente, al doceavo día de experimentación.

En base al mayor rendimiento de metano, obtenido en el reactor 1C, se procedió a utilizar este tipo de biomasa para continuar con la fase 2.

Figure 32. Cromatograma de CO₂ y CH₄ generado en los Reactores 1A, 1B y 1C

6.2.4. Evaluación del proceso de digestión anaeróbica en la segunda etapa

En la Tabla 20 se muestran los resultados obtenidos de la bioconversión en CO₂ y CH₄ de los desechos biodegradables de haba y arveja, co-digeridos con estiércol de ganado vacuno en un reactor de dos fases: la primera fase, sólida, con capacidad para 1.5 ton con recirculación del lixiviado, y la segunda fase, líquida, con cuatro columnas con material de soporte e inóculo con bacterias metanogénicas que reciben los efluentes ricos en ácidos grasos volátiles (VFA) con desfogue del excedente hacia el reactor de la fase sólida (Macías-Corral et al., 2008). Se observó que luego de 60 días en la Fase 1 y 50 días de experimentación en la Fase 2, se logró un máximo de bioconversión de metano de un 93.89% de pureza en el biogás en la fase 2 y del 70.73% en la fase 1.

Tabla 20. CO₂ y CH₄ obtenido durante la digestión anaerobia en digestor de dos fases

Días	Fase Solida 1		Fase Líquida 2	
	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)
60 - 50	29.24%	70.73%	5.41%	93.89%

El volumen de producción de biogás se cuantifico en 95.61 m³/ton de biomasa seca, con una reducción aproximada de 79 g/L (111.36 g/L – 32.96 g/L) de la DQO durante el período de estudio, con un peso final de la biomasa de 129.55 Kg. La Figura 33 presenta el cromatograma en el que se observa el importante porcentaje de CH₄/m³ de biogás al cabo de 50 días en la fase líquida del reactor de 2 fases.

Figure 33. Cromatograma de CO₂ y CH₄ generado en la fase líquida

6.2.5. Potencial de generación eléctrica en la ZIF Ecuador-Perú

Las 940 bolsas de basura recolectadas para caracterizar los residuos urbanos equivalen a un peso de 5091.65 kg. La basura se dividió en seis zonas correspondientes a la distribución censal de la ciudad, recogiénose proporcionalmente al número de hogares dentro de cada área y al azar cada cinco hogares.

Figura 34. Caracterización promedio de los residuos urbanos en el ZIF Ecuador-Perú

La Figura 34 muestra que el 44.2% de los residuos urbanos recolectados fue orgánico, seguido por el papel con el 21.1%. Los resultados indican una falta de separación en la fuente de residuos urbanos. La generación anual media de residuos urbanos por persona fue de 0.34 toneladas, lo que sugiere que la proyección oficial de la población por la estadística nacional instituyó la cantidad disponible de residuos urbanos para la co-digestión y posterior producción de biogás.

Se estima que se necesitan 15.86 millones de toneladas de residuos urbanos orgánicos por año para procesar todo el estiércol disponible en el ZIF Ecuador-Perú. La población actual en el área de estudio genera 1.06 millones de toneladas de residuos orgánicos municipales (MOUW). La cantidad de biodigestores debe ser reformulada para procesar los residuos orgánicos disponibles y generar biogás.

Cada biodigestor tiene una capacidad de 1.5 toneladas de MOUW, 700 L de agua y 100 kg de estiércol cada 40 días. Así, se requieren 77507 biodigestores para la producción de biogás. El biodigestor tiene una superficie promedio de 10 m², lo que representa una superficie total de aproximadamente 78 ha. El biodigestor de dos fases (prototipo) bajo co-digestión anaerobia para la producción de biogás, logró un rendimiento promedio de metano por metro cúbico de más del 72% descrito por Macías-Corral et al. (2008) en su estudio.

Figura 35. Generación eléctrica con el esquema propuesto en el BIZ Ecuador-Perú

El rendimiento promedio de biogás por el biodigestor fue de 100 m³ / ton de MOUW, inferior al obtenido por Macias-Corral et al. (2008) sobre la base de una reducción del 70% en la DQO, estimándose que el volumen de biogás generado fue mayor que el reportado, probablemente debido a pequeñas fugas en el reactor; por lo tanto, los procesos operativos que garanticen las condiciones herméticas deben considerarse en cargas futuras para alcanzar el objetivo de producción de al menos 150 m³ / ton MSW con un tiempo de retención promedio de 30 días. Así, el potencial energético y los ingresos provenientes de la venta de energía en el ZIF Ecuador-Perú pueden estimarse utilizando el esquema propuesto (Figura 10).

6.3. Biodiesel a partir de microalgas

El segundo biocombustible propuesto en el esquema circular es el biodiesel de microalgas, utilizando la capacidad de este cultivo para capturar CO₂ de la combustión de biogás durante la generación de electricidad, tal como se describió en la sección anterior.

Figura 36. Demanda proyectada de diésel y mezcla de biodiesel B5 y B10 para ZIF Ecuador-Perú

Fuente: (MCSE, 2015; OSINERGIM, 2013), formulado por autores

La Figura 36 muestra el consumo de diésel en el ZIF Ecuador-Perú expresado en millones de litros. 2014 es la línea base y se proyectó el consumo hasta 2028. Del consumo esperado de diésel en el ZIF a 2028, se deduce la cantidad de biodiesel requerido para

satisfacer la demanda; es decir, se considera una mezcla de biodiesel al 5% y al 10% (B5-B10).

La producción de biodiesel requiere tres procesos, a saber, producción de biomasa, extracción de lípidos y transesterificación, para convertir la biomasa en biodiesel. Varias tecnologías, tales como producciones fotoautotróficas, heterotróficas y mixotróficas, se llevan a cabo para producir biomasa de microalgas (Brennan & Owende, 2010). Como parte del esquema basado en el principio de economía circular, la producción de biomasa de algas recibirá CO₂ emitido por la combustión de biogás en el generador eléctrico. Así, el CO₂ se convierte en biomasa y oxígeno por fotosíntesis. Por lo tanto, las tecnologías de producción fotoautótrofas son las más apropiadas.

6.3.1. PBR Laminar: Retos y Oportunidades

El PBR laminar es un prototipo patentado por la Universidad Politécnica de Madrid, cuyo inventor es Jesús Fernández González, PhD, director del grupo de investigaciones Agroenergéticas de la Escuela Superior de Ingenieros Agrónomos (PCT PCT/ES2011/000104-WO2011138477, 2011). La diferencia de este sistema abierto PBR con otros sistemas abiertos es su sistema de recirculación del medio de cultivo por las paredes verticales del geotextil que permite influir en las microalgas de tal manera que una capa de biomasa puede ser fácilmente cosechada de las paredes entre 5 días a 7 días. Además, se evitan costes adicionales para concentrar la biomasa. Estos costos se incurren en sistemas abiertos tradicionales. La Figura 15 en el capítulo 3 presenta las características principales del PBR laminar.

Este prototipo fue implementado en Ecuador utilizando materiales locales de bajo costo y fácilmente disponibles. El diseño experimental consistió en dos PBR en línea bajo condiciones ambientales de operación, y se usaron cepas endémicas en el área obtenida mediante burbujeo con CO₂ en un vaso de precipitación de 400 mL usando agua de grifo. Después de 48 h, se observó presencia de microalgas en el fondo del recipiente, y la muestra de 400 ml se transfirió a un reactor de 1000 ml. Se proporcionó un sistema de aireación continua al reactor y se alimentaron 600 mL de agua del grifo en el reactor. Después de 24 h, el medio de cultivo en el reactor comenzó a mostrar un ligero color verde. Después de 72 h, el color en el medio de cultivo se volvió intensamente verde. La tasa de crecimiento de algas en este reactor no fue considerada, ya que su fin fue la

propagación para su posterior caracterización. Las microalgas fueron identificadas por observación, y las cepas dominantes fueron *Chorella vulgaris* y *Scenedesmus* sp

Figura 37. Microalgas endémicas

Fuente: Observación directa de la propagación en campo no controlada

Uno de los principales desafíos para los países latinoamericanos es la identificación de materiales adecuados para reproducir el PBR laminar en su funcionamiento continuo a largo plazo. En Ecuador, los materiales utilizados permiten una operación continua durante tres semanas con una producción promedio de $15\text{-}17\text{ g/d}^{-1}$ en biomasa seca de microalgas. Luego, el textil dentro de la malla que produce microalgas presenta una degradación que disminuye la producción diaria a $6\text{-}8\text{ g/d}^{-1}$ de biomasa seca de microalgas. Al medio de cultivo se añadió regularmente 90 g/L^{-1} de alimento foliar comercial cada 5 días.

En comparación con la producción de microalgas en España, en un invernadero de Madrid, los resultados obtenidos en Ecuador indican una importante oportunidad para que los países latinoamericanos produzcan biomasa de microalgas en PBR laminares debido a las ventajas comparativas del clima, la temperatura, la cepa de microalgas y las horas de luz. Estos parámetros son los principales factores asociados con el potencial para alcanzar rendimientos de hasta 40 toneladas de biomasa seca por hectárea usando PBR laminar.

6.4. Economía Circular y erradicación de la pobreza en la frontera Ecuador-Perú

Aunque el ZIF Ecuador-Perú es considerado un territorio de oportunidad, siendo una franja fronteriza entre ambos países, alejada del planeamiento central y con grandes ciudades, es también un área con muchas desigualdades. La pobreza y la pobreza extrema muestran que los ingresos de sus habitantes, son algunas de estas desigualdades. Según INEC (2014a), en Ecuador, la pobreza alcanzó 29.08% y la pobreza extrema 13.41% en 2014, mientras que los valores correspondientes al Perú fueron 31.64% y 22.05% en 2014 según INEI (2014a). Por lo tanto, uno de los objetivos del presente trabajo fue desarrollar iniciativas innovadoras con alto impacto en los jefes de hogares que viven en la pobreza en el ZIF Ecuador-Perú para alterar la dinámica territorial hacia un desarrollo sostenible basado en la bioeconomía.

A continuación, los beneficios y costos implícitos de las actividades y procesos se describen en detalle en el esquema circular propuesto. Existen tres dimensiones de análisis: ambientales, económicas y sociales, las cuales han sido claramente definidas en los apartados anteriores.

Las emisiones de CH₄ y NO_x y su equivalencia en toneladas de CO₂ fueron estimadas para el inventario de ganado requerido en Ecuador y Perú, calculándose un total de 0.56 millones de toneladas de emisiones de CO₂ equivalente.

Con base en la metodología propuesta por Cuéllar & Webber (2008) y con los rendimientos de la producción de biogás en la co-digestión en el prototipo experimental; se estiman las emisiones de CO₂ de la combustión de biogás durante la generación eléctrica en el rango de 60% -70 % CH₄ / m³ de biogás y un factor de eficiencia energética de 25% -40% . La Tabla 17 muestra el total de MOUW y emisiones de CO₂ expresadas en millones de toneladas equivalentes de CO₂. Se consideran los rangos inferiores (50 m³ CO₂ – 90 m³ CH₄) de las emisiones potenciales estimadas de la descomposición de una tonelada métrica de MOUW mencionada por Macías-Corral et al. (2008).

Las emisiones netas de CO₂ equivalente se presentan al final de la Tabla 21. Se estima que la implementación del esquema circular propuesto resultará en una reducción neta de 20.22 millones de toneladas de emisiones de CO₂ en el ZIF Ecuador-Perú.

Tabla 21. Resumen de las emisiones equivalentes de CO₂ en el marco circular propuesto

	*Emisiones equiv. de CO ₂	**Combustión de Biogás		*** Emisiones equiv. de CO ₂	**** Emisiones Netas equiv. de CO ₂		
		70%–40%	60%–25%		Max	Min	Media
Ecuador	0.17	1.46	2.72	7.97	6.68	5.42	6.05
Perú	0.39	3.42	6.38	18.68	15.65	12.69	14.17
ZIF	0.56	4.88	9.10	26.65	22.33	18.11	20.22

* Del manejo del estiércol expresado en millones de toneladas

** Emisiones de CO₂ expresadas en millones de toneladas

*** De la gestión de MOUW expresada en millones de toneladas

**** Emisiones de CO₂ expresadas en millones de toneladas

Como parte de la digestión anaeróbica en la producción de biogás, se requiere un total de 9.42 millones de m³ de agua, lo que equivale a una demanda de 0.63 millones de m³ por año durante el horizonte de estudio. Al final del tiempo de retención en la digestión anaerobia, el efluente resultante y el sustrato sólido contendrían contenidos apreciables de nitrógeno, fósforo y potasio.

Experimentalmente, el sustrato sólido se ha incorporado en cultivos de cacao con una importante contribución durante la floración del cultivo. Son necesarios estudios complementarios para caracterizar definitivamente los subproductos de la digestión anaerobia para lograr su comercialización como posibles fertilizantes orgánicos, focalizado al sector agrícola participante en las iniciativas basadas en EC.

6.4.1. Beneficios económicos

En esta sección se discuten los beneficios económicos en términos monetarios implicados durante cada actividad descrita en el esquema propuesto. La principal herramienta metodológica aplicada en esta sección fue el análisis costo-beneficio considerando los criterios de VAN y la relación costo-beneficio en términos públicos y privados (Vega-Quezada et al., 2017).

Tabla 22. Resumen de los beneficios ambientales en términos monetarios

	*VAN Gestión del estiércol		**VAN Costo de Oportunidad				***VAN MOUW	
	6.48%	8.84%	6.48%	8.84%	6.48%	8.84%	6.48%	8.84%
			70%–40%		60%–25%			
Ecuador	0.5	0.4	4.1	3.5	7.7	6.6	22.4	19.2
Perú	1.1	0.9	9.7	8.4	18.2	15.7	53.2	45.9
ZIF	1.5	1.3	13.8	11.9	25.8	22.2	75.6	65.1

* Recaudación de CERs de manejo de estiércol de vaca expresada en millones de dólares

** Costo de oportunidad para la combustión de biogás expresado en millones de dólares

*** Recaudación de CERs de la gerencia de MOUW expresada en millones de dólares

La Tabla 22 muestra los ingresos estimados de CERs en la gestión de CM, la gestión del MOUW y los costos relacionados con la emisión de CO₂ de la combustión del biogás para generar electricidad.

Todos los resultados se presentan en términos del VAN de los flujos anuales a lo largo del período de estudio. El costo del dinero asociado en el período (6,48% -8,84%) corresponde al promedio de las tasas bursátiles y bancarias corporativas en el mercado financiero del Ecuador. En el esquema propuesto, el primer biocombustible propuesto es el biogás para la producción eléctrica; por lo tanto, la Tabla 23 presenta los principales resultados asociados con esta actividad.

Tabla 23. Resumen de los beneficios económicos de la generación de electricidad

	*Energía	**VAN Generación Eléctrica		***VAN Inversión Requerida		****VAN Costos Laborales	
		6.48%	8.84%	6.48%	8.84%	6.48%	8.84%
Ecuador	2279.0	47.0	40.8	39.6	38.0	2706.3	2324.7
Perú	5341.6	112.1	97.6	90.6	88.1	6672.8	5742.0
ZIF	7620.6	159.1	138.4	130.2	126.2	9379.1	8066.6

* Giga watt total por hora (Gwh) esperado

** Los ingresos por generación eléctrica expresados en millones de dólares

*** Costo de inversión para la generación de electricidad expresado en millones de dólares

**** Gastos de mano de obra generación de electricidad expresada en millones de dólares

La generación eléctrica de 7620 Gwh fue proyectada en el ZIF Ecuador-Perú durante el período analizado. El precio descendente de 3.89 centavos por Kwh en 2014 a 2.72 centavos por Kwh en 2028, fue considerado en los ingresos proyectados para la generación de energía. Los ingresos estimados varían de \$ 138.4 millones a \$ 159.1 millones con una inversión aproximada de entre \$ 126.2 millones a \$ 130.2 millones. Esta proyección estima la creación de 172800 puestos de trabajo directos con un costo aproximado de entre \$ 8066.6 millones y \$ 9379.1 millones. Este importante rubro de mano de obra directa corresponde a la operación, mantenimiento y limpieza de los biodigestores 77800, con una capacidad de 1.5 toneladas que serán supervisados permanentemente por dos operadores.

Parte de la limpieza de los biodigestores incluye la separación de residuos sólidos y líquidos, que es una fuente importante de ingresos cuando se considera como fertilizante agrícola de bajo costo. En la Tabla 24 se presentan los ingresos estimados de los fertilizantes agrícolas, como subproductos de la digestión anaerobia durante la producción de biogás para la generación de electricidad.

Tabla 24. Resumen de los beneficios económicos de los subproductos en la generación de electricidad

	*Demanda de agua	**VAN Fertilizante líquido		***VAN Fertilizante sólido	
		6.48%	8.84%	6.48%	8.84%
Ecuador	2.8	2604.8	2237.5	676.6	581.2
Perú	6.6	6182.8	5333.4	1605.9	1385.3
ZIF	9.4	8787.6	7570.8	2282.5	1966.5

* Demanda de agua para la digestión anaeróbica expresada en millones de m³

** Los ingresos de fertilizantes líquidos expresados en millones de dólares

*** Ingresos de fertilizantes sólidos expresados en millones de dólares

La Tabla 24 también muestra la demanda de agua en millones de metros cúbicos a lo largo del período de estudio. Esta demanda se satisface con la utilización de aguas residuales locales, o con agua de lluvia para no competir con el agua para uso doméstico. Los ingresos previstos de los subproductos de la generación de electricidad alcanzan beneficios económicos significativos de entre \$ 1966.5 millones de dólares y \$ 8787.6 millones de dólares. Como parte del esquema propuesto, las emisiones de CO₂ procedentes de la combustión del biogás se utilizan en la producción de microalgas de energía utilizando el PBR laminar.

La Tabla 25 muestra la producción estimada de biodiesel durante el período analizado. La producción de biodiesel en el ZIF Ecuador-Perú permitiría satisfacer el 43.29% de la demanda de biodiesel B5 (5% biodiesel-95% diésel premium) al final del período y terminar en 98.33% de la demanda. Un total de 3779 ha de cultivo de microalgas son requeridos en el PBR laminar, las mismas que aumentan progresivamente la productividad anual de la biomasa y el porcentaje de lípidos para la extracción.

Tabla 25. Resumen de los beneficios económicos para el cultivo de microalgas en PBR laminar

	*Biodiesel	**VAN Ingresos		***VAN Costos
		6.48%	8.84%	
Ecuador	395.9	417.6	337.8	204.2
Perú	860.5	869.6	705.1	443.9
ZIF	1256.4	1287.2	1042.9	648.1

* Potencial de biodiesel esperado, expresado en millones de litros

** Flujo de caja proveniente de la venta de piensos, glicerina y biodiesel expresados en millones de dólares

*** Costos de inversión por microalgas basadas en biodiesel expresadas en millones de dólares

Los ingresos previstos por la venta de biodiesel y los subproductos resultantes en el cultivo de microalgas oscilan entre 1042.9 millones de dólares y 1287.2 millones de dólares, con una inversión requerida de 648.1 millones de dólares. La cantidad de alimento disponible a lo largo del período de estudio es de 4.47 millones de toneladas,

que en términos de toneladas disponibles por cada 1000 kg de unidad animal varía de 2.86 a 9.16 toneladas entre el inicio y el final del período.

Incluso, con un aumento considerable en la producción de biomasa de microalgas utilizando PBR laminar, la producción exclusiva de biodiesel no es factible, ya que los ingresos de subproductos, como la glicerina y la alimentación del ganado, representan más del 50% de los ingresos de los cultivos. En este estudio, los subproductos con alto valor comercial, como la luteína, se presentan como iniciativas innovadoras que no tienen competencia en los procesos industriales. Los subproductos presentados en esta investigación tienen beneficios prometedores en el futuro.

Tabla 26. Resumen de los beneficios netos en el esquema sinérgico propuesto

	*Emisiones equiv. de CO ₂						**Biogás y subproductos		***Biodiesel y subproductos	
	6.48%			8.84%			6.48%	8.84%	6.48%	8.84%
	Max	Min	Median	Max	Min	Median				
Ecuador	18.8	15.2	17.0	16.1	13.1	14.6	582.5	496.7	213.3	133.6
Perú	44.5	36.1	40.3	38.4	31.1	34.8	1137.4	986.1	425.7	261.2
ZIF	63.3	51.3	57.3	54.5	44.2	49.3	1719.9	1482.9	639.1	394.8

* Ingresos netos Emisiones de CO₂ expresadas en millones de dólares

** Los ingresos netos por generación de electricidad y fertilizantes expresados en millones de dólares

*** Los ingresos netos de biodiesel y subproductos de microalgas expresados en millones de dólares

La Tabla 26 presenta los resultados netos de cada una de las actividades descritas en el esquema propuesto. En primer lugar, la mitigación de las emisiones de CO₂ equivalentes ha proyectado beneficios entre \$ 49.3 millones y \$ 57.3 millones. La Tabla 26 también muestra los resultados de la producción de biogás, generación eléctrica y subproductos, con beneficios netos esperados de \$ 1482.9 millones y \$ 1719.9 millones. Finalmente, los resultados de la producción de biodiesel a partir de microalgas y sus subproductos, muestran beneficios de entre \$ 394.8 millones y \$ 639.1 millones.

La Tabla 27 presenta los beneficios netos en términos públicos y privados para el esquema propuesto basado en la metodología de análisis costo-beneficio de Vega-Quezada et al. (2016b). El VAN público esperado se sitúa entre US \$ 216.38 millones y US \$ 282.41 millones. Estos ingresos corresponden a los impuestos que serían recaudados por Ecuador y Perú como impuesto sobre la renta del sector de la bioenergía en Ecuador-Perú ZIF. La siguiente sección se refiere al VAN privado, considerando que la financiación, ejecución del proyecto y su gestión, se han implementado sin participación estatal. El VAN privado varía entre \$ 1927 millones y \$ 2416.2 millones, mientras que un BCR privado varía entre 1.22 y 1.24.

Tabla 27. Beneficios públicos y privados del esquema sinérgico propuesto

	*VAN Público		**VAN Privado		***VAN Inversión requerida	
	6.48%	8.84%	6.48%	8.84%	6.48%	8.84%
Ecuador	76.99	58.99	812.8	644.9	243.8	242.2
Perú	205.41	157.38	1603.4	1282.1	534.5	532.0
ZIF	282.41	216.38	2416.2	1927.0	778.3	774.3

* Los ingresos fiscales del sector de la bioenergía expresados en millones de dólares

** Ingresos en efectivo al territorio expresados en millones de dólares

*** Inversión requerida por el territorio expresada en millones de dólares

Finalmente, se presenta la inversión inicial requerida para implementar la propuesta, que varía entre \$ 774.3 millones y \$ 778.3 millones. Si la iniciativa se financia íntegramente con fondos públicos, el BCR estimado estaría entre 1.24 y 1.27, debido a que los impuestos sobre el sector de la bioenergía se consideran parte de los ingresos públicos.

6.4.2. Beneficios sociales

En el esquema sistémico propuesto, se estiman aproximadamente 191700 nuevos puestos de trabajo directo, con 60.399 en Ecuador y 131301 en Perú. El ingreso laboral estimado equivale a una remuneración mensual de US \$ 400 en Ecuador y una corrección del tipo de cambio equivalente a S / 1200 (PEN) en Perú. Para estimar el impacto del cambio en los salarios y su condición de pobreza, se consideran los siguientes factores:

- STATA 14 se utiliza para las estimaciones.
- Para Ecuador se utiliza la encuesta nacional de empleo y desempleo del último trimestre de 2014 (INEC, 2014a), mientras que para Perú la encuesta nacional de hogares de 2014 se utiliza con el módulo de empleo (INEI, 2014a). También se considera el factor de expansión de vida y población de estos últimos.
- Las unidades de análisis de población son los jefes de hogar, a quienes se dirige la política de desarrollo local con el esquema sistémico propuesto.
- La condición de pobreza se estima con los datos disponibles. Los valores que se refieren a la línea de pobreza y a la pobreza extrema, se estiman en función de las consideraciones de cada país. Se consideran tres clasificaciones: no pobreza, pobreza y pobreza extrema.
- La tipología de la situación de pobreza en la situación actual se registra como variable t_p, pero una vez que se ha implementado la iniciativa sistémica propuesta, se genera una nueva tipología de la condición de pobreza almacenada como variable t_p2.

- El impacto generado por el cambio en la condición de pobreza se transfiere al nivel de población, mejorando la situación de pobreza del entorno familiar alrededor del jefe de familia.

La Tabla 28 muestra el cambio en la condición de pobreza de los jefes de hogar en Ecuador. De los 60.399 puestos de trabajo disponibles para Ecuador, 52407 jefes de hogar en pobreza y pobreza extrema ocuparían los lugares disponibles.

Tabla 28. Cambios en la condición de pobreza de los jefes de hogar en la frontera de Ecuador

Jefes de hogar	t_p2			
t_p	Pobre Extremo	Pobre	No pobre	Total
Pobre Extremo	23755	20689	4831	49276
Pobre	-	56246	12543	68789
No pobre	-	-	377716	377716
Total	23755	76935	395089	495780

La Tabla anterior muestra que, con el esquema propuesto, de los 49276 jefes de hogares que viven en extrema pobreza, 4831 saldrían de la pobreza y 20689 mejorarían su condición de pobreza extrema a pobreza. En total, a pesar de la mejora en el ingreso personal de 52407 cabezas de familia, sólo 38063 de estos jefes podrían cambiar su condición de pobreza.

Tabla 29. Cambios en la condición de pobreza de la población en la frontera de Ecuador

Población	t_p2			
t_p	Pobre Extremo	Pobre	No pobre	Total
Pobre Extremo	104584	137546	24915	267045
Pobre	-	239167	72820	311987
No pobre	-	-	1412224	1412224
Total	104584	376713	1509960	1991256

El efecto de la mejora en la remuneración individual del jefe de hogar beneficia a toda la familia, generando importantes cambios en la condición de pobreza a nivel poblacional. La Tabla 29 muestra que más de 235000 personas han cambiado su condición de pobreza y que más de 97700 de estos jefes han abandonado la pobreza. El efecto global en la población de la frontera en Ecuador es una reducción de la pobreza del 29.08% al 24.17% y una reducción de la pobreza extrema del 13.41% al 5.25%.

Tabla 30. Cambios en la condición de pobreza de los jefes de hogar en la frontera de Perú

Jefes de hogar	t_p2			
t_p	Pobre Extremo	Pobre	No pobre	Total
Pobre Extremo	265405	84723	5974	356102
Pobre	-	142061	28257	170318
No pobre	-	-	1401003	1401003
Total	265405	226783	1435234	1927423

Para el Perú, la Tabla 30 muestra el cambio en la condición de pobreza de los jefes de hogar. De 131301 empleos disponibles con la iniciativa propuesta, todos los puestos de trabajo están ocupados por jefes de hogar bajo pobreza y pobreza extrema y con ingresos individuales por mes de menos de S / 1200 (PEN).

Del total de jefes de familia vinculados a la iniciativa propuesta, aproximadamente 118950 cambiarían su condición de pobreza original. Un total de 84723 jefes de familia saldrían de la pobreza extrema, pero mantendrían una condición de pobreza, mientras que 34231 dejaría por fin la pobreza. En la Tabla 31 se presenta el impacto del aumento de los ingresos individuales de los jefes de hogar dentro del círculo familiar.

Tabla 31. Cambios en la condición de pobreza de la población en la frontera de Perú

Población	t_p2			
t_p	Pobre Extremo	Pobre	No pobre	Total
Pobre Extremo	1071288	583342	41350	1695980
Pobre	-	534192	203324	737516
No pobre	-	-	5258513	5258513
Total	1071288	1117534	5503187	7692009

El efecto sobre la población es significativo, ya que 828000 personas cambiaron su condición de pobreza y 244270 mejoraron de la pobreza. La reducción de la pobreza en Perú disminuye de 31.64% a 28.46% y la pobreza extrema se reduce de 22.05% a 13.93%.

6.4.3. Análisis multicriterio

Una vez identificados y cuantificados los beneficios ambientales, económicos y sociales durante la implementación de la estrategia circular en el esquema sinérgico propuesto para la ZIF Ecuador-Perú, se realizó un análisis conjunto de los resultados. Tener indicadores expresados en diferentes unidades es necesario para aplicar una herramienta metodológica que permita comparar la situación actual de la frontera entre Ecuador y Perú y el escenario en que se implementará la estrategia circular propuesta. Por lo tanto, la herramienta metodológica a implementar es el análisis multicriterio, el mismo análisis que utiliza la herramienta informática NAIAD (Institute for System Informatics and Safety ISIS, 1997).

En primer lugar, se definen las dimensiones del estudio para los datos disponibles y los resultados obtenidos ayudarían a identificar la dimensión económica, ambiental y social. A partir de estas dimensiones, identificamos los criterios dentro de cada dimensión de

estudio en base a las secciones anteriores de los cuatro criterios de análisis, tanto para la situación actual como para la estrategia circular propuesta.

Se identificaron cuatro criterios que describimos mediante variables cuantitativas. Estos criterios incluyen el VAN de la iniciativa más los ingresos monetarios actuales de los jefes de hogar, las emisiones de CO₂ equivalente (CO₂Emiss), los jefes de familia en pobreza (Pobreza) y los jefes de hogar en condiciones de extrema pobreza (Pobreza extrema). Los objetivos eran maximizar el VAN y minimizar el CO₂, pobreza y pobreza extrema.

Tabla 32. Resumen de criterios, dimensiones y variables para el análisis multicriterio

Variable Dimensión Comentario	Criterios			
	VAN Económica \$ Millones	CO ₂ Emiss Ambiental Millones de toneladas	Pobreza Social # Miles de Jefes de hogar	Extrema pobreza Social # Miles de Jefes de hogar
Objetivo	1	-1	-1	-1
Límites	9.0%	2.0%	5.0%	2.5%
Pesos	0.25	0.25	0.25	0.25
Transformación	1	1	1	1
Situación Actual	2187.67	27.21	644.5	405.4
Estrategia Circular	4175.69	20.22	592.9	289.2
Log				
Situación Actual	7.69	3.30	6.47	6.00
Estrategia Circular	8.34	3.01	6.38	5.67
u==	0.04	0.01	0.02	0.01
u~	0.09	0.02	0.05	0.02
u >	0.10	0.03	0.06	0.03
u >>	0.17	0.04	0.10	0.05

El umbral máximo de intercambio para permitir que se estableciera un escenario diferente se fijó en 9% para el VAN, en el que se consideró el costo de oportunidad máximo del dinero en el territorio (8.84% ~ 9%). Entonces, el 2% fue establecido como el umbral máximo para las emisiones de CO₂, porque esta tasa es la tasa de variación del uso frecuente para modelos de cambio climático. Además, se estableció un 5% y un 2.5% para la Pobreza y la Pobreza Extrema, considerando el rango esperado de variación en el ZIF Ecuador-Perú como una meta binacional establecida por ambos países en términos de reducción de la pobreza. Se ha establecido el supuesto de igualdad en los pesos proporcionales de cada uno de los criterios (25%) para evitar polémicas y llevar a cabo un proceso práctico, sencillo y de fácil reproducibilidad.

Para el tratamiento previo de los datos y su entrada en NAIADe, se realiza la conversión logarítmica de todas las variables para suavizar la diferencia entre los valores estocásticos originales y la diferencia entre sus respectivas unidades de medida. Con la conversión

logarítmica de las variables, se estimaron los parámetros de comparación entre las propuestas ($u \sim$, $u =$, $u >$, $u >>$). Utilizamos relaciones $[\log(1 + \text{umbral})]$, $u \sim / 2$, $u \sim + 0.01$, $u \sim * 2$) establecidas previamente para el uso del software de soporte.

La Figura 38 muestra las capturas de pantalla de la entrada de datos, el número de interacciones (1000) realizadas y los valores numéricos de cada opción con análisis comparativo para determinar si una propuesta es igual, aproximada, mayor o mucho mayor que otra.

Figura 38. Resultados del análisis multicriterio en el NAIAD

Fuente: (ISIS 1997) Formulado por los autores

De todos los criterios de análisis, solo el referente a la pobreza es aquel que no tiene una diferencia marcada en cuanto a su diferencia mayor o mucho mayor entre las dos alternativas analizadas.

Figura 39. Resultados de la comparación por pares y entropía
Fuente: (ISIS 1997) Formulado por los autores

En detalle la comparación por pares para cada uno de los criterios de análisis se presenta en la Figura 39. La comparación por pares puede definirse como la comparación de las puntuaciones de los criterios (valores) de cada par de acciones (alternativas) utilizando la distancia semántica¹⁴. Esta comparación se basa en las relaciones de preferencia que han sido expresadas por el usuario para cada criterio único, partiendo de la distancia entre alternativas. Las relaciones de preferencia se definen por medio de seis funciones que permiten expresar (dependiendo de la distancia entre alternativas) para cada criterio, un índice de credibilidad de las afirmaciones de que una alternativa es mucho mejor, mejor,

¹⁴ “En el caso de la evaluación numérica, la distancia se define simplemente como la diferencia entre los dos números. En el caso de evaluación difusa o estocástica, se utiliza el concepto de distancia semántica. La distancia semántica mide la distancia entre dos funciones: toma en cuenta la posición y también la forma de las dos funciones (ya sea para funciones de membresía difusa o funciones de densidad de probabilidad)...”(Institute for Systems Informatics and Safety ISIS, 1996).

aproximadamente igual, igual, peor y mucho peor que otra. El índice de credibilidad va de 0 (definitivamente no creíble) a 1 (definitivamente creíble) aumentando monótonamente dentro de este rango (Institute for Systems Informatics and Safety ISIS, 1996).

Del resultado de la comparación por pares, la Figura 39 presenta que en todos los criterios la opción A (situación actual) es peor o mucho peor que la opción B (estrategia circular), con índices de credibilidad mayores a 0.70 en la función A peor que B; más en conjunto, los criterios pueden resumir la situación final al realizar el análisis por entropía, el mismo que con el fin de utilizar la información sobre la diversidad, evalúa las relaciones difusas individuales, según cada criterio.

La entropía se calcula como un índice que varía de 0 a 1, lo que da una indicación de la varianza de los índices de credibilidad que están por encima del umbral, y alrededor del valor de cruce 0,5 (máximo difuso). Un valor de entropía de 0 significa que todos los criterios dan una indicación exacta (ya sea definitivamente creíble o definitivamente no creíble), mientras que un valor entropía de 1 significa que todos los criterios dan una indicación sesgada por la máxima difusa (0.5) (Institute for Systems Informatics and Safety ISIS, 1996).

El valor de entropía en este ejercicio está en el orden de 0.3006 para la función peor y 0.3859 para la función mucho peor, por lo tanto, es pertinente inferir que al encontrarse cercano a 0, todos los criterios de evaluación se acercan a una indicación definitivamente creíble en cuanto a que la opción A es peor y mucho peor que implementar la opción B. Este resultado del análisis multicriterio indica que la opción B (estrategia circular) es viable de aplicar en el ZIF Ecuador-Perú, en virtud de generar diferencias notables en la mejora de las condiciones que la situación actual presenta.

7. Discusión General

7.1. Las implicaciones de política

A pesar de que el estudio sólo plantea tendencias y escenarios basados en información histórica, sin considerar impactos inesperados y otros fenómenos que puedan implicar cambios en las tendencias futuras, constituye un enfoque consistente y relevante para estimar posibles escenarios futuros para el desarrollo del sector bioenergético en Ecuador. En particular, este enfoque proporciona la información necesaria para orientar las políticas públicas que buscan diversificar las fuentes de energía, el desarrollo rural y la soberanía alimentaria. Además, es importante considerar estudios adicionales que reflejen el impacto de los cultivos energéticos en el sector agrícola del Ecuador.

Asimismo, es importante considerar el potencial bioeconómico que resulta de aprovechar las sinergias entre la agricultura y la bioenergía en las Zonas de Integración Fronteriza de Ecuador y América Latina como política de desarrollo social y complementariedad económica que apunta a la integración regional.

7.2. La Economía Circular y la erradicación de la pobreza

Las interacciones complejas previstas en este caso de estudio estiman un cambio en la condición de pobreza; por lo tanto, con los resultados disponibles, es posible inferir que al implementar la estrategia circular en la zona de frontera sur de Ecuador, se estiman 99081 nuevos puestos de trabajo, que serán orientados hacia aquellos jefes de hogar en condición de pobreza dentro del territorio. Las emergencias del subsistema EC permite incrementar la oferta energética en 1836 Gwh, e incrementar los flujos de fertilizantes en 6449 millones de litros y 1.95 millones de toneladas, a la vez que transfiere las remuneraciones. Las mejoras en codigestión MSW+CM, así como mezclas alternativas, son los flujos de información entre los subsistemas, consolidando el conocimiento en la capacidad de los jefes de hogar para replicar las iniciativas de EC a nivel de hogar.

En el marco de los hacedores de políticas, las estrategias basadas en EC deben orientarse a aquellos jefes de hogar dentro de la frontera sur de Ecuador de acuerdo a la vulnerabilidad en cuanto a los indicadores de la pobreza multidimensional y pobreza por ingresos; con un empleo inadecuado y sin cobertura de seguridad social en respuesta a las

determinantes de mayor efecto marginal probable orientado hacia disminuir la pobreza por ingresos, y considerar aquellos hogares con cuatro o más miembros ya que responde al promedio de integrantes por familia a nivel nacional. Bajo estas premisas de vulnerabilidad a nivel de jefes de hogar, la Tabla 33 presenta la estimación de los cambios fenoménicos en la condición de pobreza por ingresos al implementar las estrategias basadas en EC.

Tabla 33. Cambios en la condición de pobreza por ingresos

Jefes de Hogar		t_p2		
t_p	Extremo pobre	Pobre	No pobre	Total
Extremo pobre	258545	20820	14683	294048
Pobre	-	519533	16778	536311
No pobre	-	-	3552910	3552910
Total	258545	540353	3584371	4383269
Población		t_p2		
t_p	Extremo pobre	Pobre	No pobre	Total
Extremo pobre	1236992	140353	64437	1441782
Pobre	-	2282220	79942	2362162
No pobre	-	-	12792961	12792961
Total	1236992	2422573	12937340	16596905

De las 99081 nuevos empleos, los jefes de hogar en condición de vulnerabilidad que pueden beneficiarse de esta estrategia circular son 90227. A nivel de jefes de hogar el fenómeno previsto es una reducción en la condición de pobreza de 52281 personas, de los cuales 31461 abandonan la condición de pobreza por ingresos mientras que 20820 cambian su condición de extrema pobreza a pobreza por ingresos. A nivel de población se espera un cambio en la condición de pobreza de 284732 personas, de las cuales el 50.71% abandona la condición de pobreza y el resto reduce su vulnerabilidad al cambiar de extrema pobreza a pobreza por ingresos. Estos fenómenos sistémicos son estadísticamente significativos ($\alpha=0.01$) y son equivalentes a pasar del 22.92% al 22.05% en pobreza y del 8.69% al 7.45% en extrema pobreza por ingresos en el 2016 como resultado de implementar estrategias basadas en EC.

Tabla 34. Cambios en la condición de pobreza multidimensional

Descripción	2016	2016_CE	Cambios Absolutos	Cambios Relativos
Pobreza Multidimensional (MPI)	0.169	0.1649	-0.0041	-2.43%
Incidencia – pobreza multidimensional (H)	0.351	0.3461	-0.0049	-1.40%
Intensidad – pobreza multidimensional (A)	0.4815	0.4763	-0.0052	-1.08%
2.2 Desempleo o empleo inadecuado	0.324	0.317	-0.0070	-2.16%
2.3 No contribución al sistema de pensiones	0.304	0.297	-0.0070	-2.30%
3.1 Pobreza extrema por ingresos	0.081	0.068	-0.0130	-16.05%
4.4 Sin servicio de recolección de basura	0.12	0.11	-0.0100	-8.33%

Personas pobres multidimensionales(miles)	5825	5744	-81	-1.39%
---	------	------	-----	--------

En el caso de los cambios fenoménicos en la condición de pobreza multidimensional, la Tabla 34 presenta los principales resultados y las variaciones en términos absolutos y relativos. A nivel nacional se observa una reducción de MPI en 0.4 puntos porcentuales en términos absolutos, equivalentes a una reducción relativa de 2.43%. Entre las proporciones de recuento censuradas que disminuyen, destaca el empleo inadecuado, la contribución al sistema de pensiones, la extrema pobreza por ingresos y la recolección de basura; en cuanto al número de personas en condición de pobreza multidimensional, se estima una disminución de 81000 personas aproximadamente.

7.3. Las iniciativas circulares como una estrategia de desarrollo binacional

La estrategia circular propuesta se considera una iniciativa innovadora, pero con fuerte dependencia teórica, ya que su diseño se basó en fuentes bibliográficas. Después de cuatro años de su enfoque original, el concepto teórico se actualizó en un 80% (Sin licuefacción termoquímica, combustión de biogás en motor estacionario) lo que permitió identificar puntos importantes que facilitarían el desempeño para la industrialización del esquema propuesto.

El PBR laminar es una contribución fundamental a la escala industrial de la propuesta. Sin embargo, factores como la producción continua con altos volúmenes de producción que muestran el efecto continuo de la inyección de CO₂ a la biomasa de algas y el aumento del contenido de lípidos son factores de estudio inmediatos que una vez resueltos podrían comenzar con la estrategia a escala piloto.

El conocimiento previo de todos los componentes de la propuesta que trabajan en paralelo constituye el mayor activo que ha dado lugar a este estudio. Se han realizado estudios complementarios sobre el impacto de iniciativas focalizadas, considerando el sector agrícola, proyectos energéticos y turismo orientado hacia el bioconocimiento en territorios colindantes de ambos países. También se ha identificado la percepción de los actores locales (gubernamentales, financieros y productivos) respecto al impulso y participación de la comunidad y los hacedores de políticas frente a estrategias basadas en el bioconocimiento, con relación a la propuesta en este estudio.

La Figura 40 presenta los resultados del análisis multicriterio de los actores dentro de la ZIF Ecuador-Perú para un conjunto de iniciativas concretas en un área de influencia binacional referida a la reserva de biosfera “Bosques Secos del Suroccidente del Ecuador”. En este contexto de evaluación se observa que de las cuatro alternativas evaluadas (en detalle en Anexo C), se consideran 15 actores entre gobiernos locales, instituciones del ejecutivo (ministerio de ambiente; agricultura), organismos e iniciativas de conservación y asociaciones productivas. El orden de prioridad en las alternativas involucra de forma descendente el Ecoturismo, Energía, Intensidad Agrícola y la Situación Actual.

Figura 40. Resultados del análisis de actores en la frontera sur de Ecuador

Fuente: (ISIS 1997) Formulado por los autores

En la parte inferior de la Figura 40 se identifica de forma descendiente, como disminuye la probabilidad de establecer coaliciones para impulsar políticas públicas.

En el marco de generar mecanismos o estrategias innovadoras relacionadas con el bioconocimiento, desarrollo sostenible, conservación y/o adaptación-mitigación de los efectos del cambio climático, esta mirada a los resultados en el análisis de actores dentro del área de intervención permite interpolar (con prudentes limitaciones) las expectativas y percepciones de los actores sociales, políticos y productivos en demanda de iniciativas innovadoras frente a la situación actual; además, establece una modesta preferencia hacia estrategias bioeconómicas de mediano y largo plazo. En consecuencia, es pertinente inferir que las sinergias agricultura-bioenergía presentan un singular potencial como una estrategia de desarrollo desde los bordes, al establecer índices de credibilidad aceptables orientados a integrar de arriba hacia abajo, y de abajo hacia arriba, a los actores y participantes de estrategias sistémicas como las propuestas en este trabajo.

8. Conclusiones

El desarrollo de biocombustibles, como una importante iniciativa mundial para mitigar el cambio climático y aumentar la seguridad energética, involucra a la agricultura como actividad económica primaria y sector clave en los países de América Latina y el Caribe, así como en muchos países en desarrollo, y contribuye de manera fundamental al desarrollo socioeconómico de los países desarrollados.

Sin embargo, el desarrollo de la bioenergía en combinación con una creciente demanda de alimentos, conduce a una competencia entre los cultivos con fines alimentarios-energéticos por el uso de la superficie agrícola disponible. Si a esto se suma las densas poblaciones, las ciudades se convierten en las principales consumidoras de recursos (alimentos y energía) y productoras de desechos; en este contexto se genera un círculo vicioso de producción, consumo, residuos y pobreza.

La complejidad de estas respuestas socioeconómicas ha llevado al desarrollo de dos vías del conocimiento: la primera, se orienta al desarrollo de tecnologías cada vez más eficientes en la producción de biocombustibles (biogás y biodiesel) orientando su desarrollo hacia la ingeniería de procesos y cuyo fin principal es la producción de energía; la segunda, desarrolla el concepto de la economía circular cuyo punto principal es capitalizar el reciclaje del flujo de materiales y equilibrar el crecimiento económico y el desarrollo con el uso del medio ambiente y los recursos finitos disponibles.

A menudo, la producción de biocombustibles y el concepto de economía circular comparten corrientes del conocimiento, generando influencia positiva en la política y la innovación en algunas de las economías más grandes del mundo como China, Alemania, Japón y el Reino Unido. Sin embargo, en la actualidad, son limitados los estudios que vinculen la adaptación, la mitigación del cambio climático y que destaquen las sinergias entre proyectos específicos de biocombustibles, además de presentar una incipiente participación de la evidencia empírica y casos de estudio a nivel regional con una ALC subrepresentada, donde aspectos socioeconómicos como la erradicación de la pobreza y de gestión son raramente objeto de la investigación.

En este sentido, la importancia de identificar sinergias entre agricultura y bioenergía basadas en la economía circular, y elaborar evaluaciones de impacto en los indicadores de sostenibilidad, así como sus afectaciones a la condición de pobreza a todo nivel, han

sido subyugadas en esta tesis. Hay una necesidad urgente de complementar la brecha existente entre la desproporcionada cantidad de estudios empíricos relacionados con la ingeniería de procesos en la producción de biocombustibles en el marco de la economía circular, y la evidencia más objetiva, bien estructurada y reproducible que aborde aspectos socioeconómicos y de gestión para fomentar la transferencia del conocimiento al campo de acción a través del flujo continuo entre la academia, los hacedores de política y la puesta en marcha.

Esto es especialmente importante en los países en desarrollo donde la agricultura es un sector clave, ya que considera las sinergias agricultura-bioenergía; cuantificar los alcances económicos, ambientales y sociales, ayuda a entender los efectos socioeconómicos a escala nacional y el potencial de identificar innovadoras políticas de desarrollo. En consecuencia, es necesario integrar las tecnologías disponibles en la producción de biocombustibles y aprovechamiento de residuos sólidos urbanos-agrícolas, como elementos de un sistema mayor y no como una actividad aislada de su entorno. Para comprender los efectos socioeconómicos implícitos en este tipo de iniciativas, se requiere un marco de referencia que integre un conjunto de herramientas cuantitativas y cualitativas de evaluación que registre los beneficios económicos, ambientales y sociales emergentes.

El objetivo de esta tesis fue analizar los efectos económicos, ambientales y sociales ligados a la reducción de la pobreza, de una iniciativa concreta basada en las sinergias agricultura-bioenergía a través un conjunto de herramientas de evaluación cuantitativas (diseño experimental, emisiones equivalentes de CO₂, Análisis Costo-Beneficio, el índice de recuento de Alkire y Foster Ajustado, Análisis Multicriterio) y cualitativa (modelos logit). La revisión exhaustiva de los principales avances biotecnológicos en la producción de biocombustibles identificó algunas brechas de investigación al abordar las sinergias entre proyectos específicos de biocombustibles como un conjunto de iniciativas sistémico, a pesar de contar con tecnologías maduras plasmadas en análisis de casos llevados a escala industrial.

Algunas de esas brechas se abordaron al identificar una iniciativa concreta basada en las sinergias agricultura-bioenergía en Ecuador y cuantificar las emergencias técnicas, económicas, ambientales y sociales a escala bibliográfica, detallados en el capítulo 4. Por otra parte, el capítulo 5 presenta los efectos socioeconómicos ligados a la erradicación de

la pobreza a escala subnacional y nacional, al implementar estrategias de desarrollo basadas en las sinergias agricultura-bioenergía, a la vez que incorpora coeficientes de la ingeniería de procesos en la producción de biogás bajo condiciones de operación. Además, en el capítulo 6 se abordó un análisis multicriterio del esquema circular propuesto, evaluando los efectos socioeconómicos de las sinergias agricultura-bioenergía a escala supranacional, como una estrategia de desarrollo desde los bordes, a la vez que incorpora coeficientes de la ingeniería de procesos en la producción de biodiesel bajo condiciones de operación.

Esta investigación ha producido resultados relevantes para la toma de decisiones, arrojando luces para intervenciones innovadores orientadas al desarrollo, especialmente para los territorios más vulnerables a la pobreza. Los hallazgos y contribuciones más relevantes se resumen en la siguiente sección.

Descubrimientos importantes

Tanto la revisión de la literatura como los marcos de evaluación abordados en esta investigación, revelan varios hallazgos que pueden ayudar a responder a varias necesidades expresadas por la comunidad científica. Estas necesidades tienen que ver con dos cuestiones particulares: en primer lugar, la escasa atención prestada a estudios de casos que vinculen la adaptación, la mitigación del cambio climático y destaquen las sinergias entre proyectos específicos de biocombustibles en el marco de la economía circular; en segundo lugar, la necesidad de realizar evaluaciones de los efectos socioeconómicos de las iniciativas sistémicas propuestas a todo nivel, especialmente para mostrar la relevancia de las iniciativas basadas en la economía circular como estrategias de desarrollo y erradicación de la pobreza.

Independientemente de la escala de la evaluación, los resultados del análisis cuantitativo de las iniciativas propuestas en su conjunto proporcionan mayores beneficios para el desarrollo del sector de la bioenergía en Ecuador, que la suma agregada de los beneficios individuales de cada actividad. Un hallazgo común, sujeto a la libre disponibilidad de recursos financieros, muestra que, al promover la producción de biodiesel como único propósito, los cultivos energéticos tradicionales presentan mayor rentabilidad en términos privados y, como resultado del intensivo uso del suelo, se inicia una competencia por la superficie cultivable desplazando alrededor de 40.000 hectáreas de cultivos alimentarios después de ocupar toda la superficie agrícola disponible en el caso de Ecuador.

Por el contrario, bajo escenarios sujetos a limitados flujos de capitales y líneas de financiamiento con fondos gubernamentales, el desarrollo de estrategias basadas en el principio de economía circular, como la producción de biodiesel a partir de microalgas y la producción de biogás usando residuos urbanos y agropecuarios, muestra mayor rentabilidad pública, es más respetuosa con el medio ambiente y tiene una mayor interacción con otros sectores productivos.

En la transición de analizar las estrategias circulares de un contexto bibliográfico a uno sujeto a: 1) las condiciones de operación; y 2) el análisis de los efectos socioeconómicos en el marco de una estrategia de desarrollo, se determinó que las sinergias agricultura-bioenergía ocasionan cambios estadísticamente significativos en la dinámica de pobreza. En el caso de la pobreza por ingresos, las reducciones son mayores en los más pobres a nivel subnacional, nacional y supranacional, mientras que en el caso de la pobreza multidimensional, las reducciones estadísticamente significativas ocurren tanto en la incidencia como en intensidad.

Los marcos de evaluación cuantitativa y cualitativa en este estudio permiten comprender mejor los efectos socioeconómicos de las sinergias agricultura-bioenergía en el marco del desarrollo, la erradicación de la pobreza, adaptación y mitigación del cambio climático. Por lo tanto, constituyen un conjunto de herramientas útiles para distinguir los beneficios económicos potenciales, las disparidades sociales, la reducción de residuos, carga ambiental y aprovechamiento de materiales, para ayudar a los responsables políticos en el desarrollo de marcos de evaluación e instrumentos de política (subvenciones, incentivos fiscales) que fomenten la transferencia del conocimiento al campo de acción a través del flujo continuo entre la academia, los hacedores de política y la puesta en marcha de estrategias basadas en las sinergias agricultura-bioenergía o de cualquier estrategia de desarrollo en el marco de la economía circular.

Contribución a la investigación

Esta tesis aborda varios desafíos que la comunidad científica ha mencionado como brechas en el contexto de la limitada evidencia empírica de estudios que destaquen las sinergias entre tecnologías de producción de biocombustibles y que, además de la ingeniería de procesos, incorporen los aspectos socioeconómicos y de gestión. En un primer momento, el estudio de caso aplicado a Ecuador ofrece una importante contribución a la comprensión de sinergias entre proyectos específicos de

biocombustibles y los potenciales beneficios económicos, ambientales y sociales, al diseñar conjuntos de elementos que solo son posibles bajo un esquema de sinergias sujetas a un flujo circular, que de forma individual difícilmente se relacionarían y generan costos ambientales en su mayoría. En este contexto, las sinergias agricultura-bioenergía son reconocidas por la comunidad científica como evidencia empírica reciente con un enfoque en los aspectos económicos, tecno-económicos y socioeconómicos de la producción de biodiesel, así como evidencia empírica relacionada con la producción de bioenergía que hasta cierto punto se ha venido explorando dentro de los contextos de análisis de la cadena de suministro y el concepto de economía circular.

En un segundo momento y en una ambiciosa transición de un contexto bibliográfico a uno con coeficientes técnicos de la ingeniería de procesos bajo condiciones de operación, el estudio de caso aplicado a Ecuador ofrece una importante contribución al incorporar evidencia empírica y un marco de referencia metodológico que abre el debate en torno a identificar y cuantificar las potenciales interacciones entre las estrategias de economía circular y la pobreza; todo esto a través de una actualización permanente y la adición de herramientas cuantitativas y cualitativas al caso de estudio, que permitieron generar resultados a nivel subnacional, nacional y supranacional.

Por último, los marcos de evaluación desarrollados en esta investigación, aunque centrados en un estudio de caso particular, pueden ser transferibles para el análisis de estrategias bajo el concepto de economía circular, a cualquier región o economía en desarrollo que cuente con información estadística con regularidad-calidad promedio al de América Latina y el Caribe.

Limitaciones y recomendaciones para futuras investigaciones

En esta sección se analizan brevemente las limitaciones de esta investigación, considerando también estas deficiencias como pistas para recomendaciones de nuevas vías de investigación.

En esta investigación, la transición del contexto bibliográfico a uno bajo condiciones de operación de los coeficientes técnicos asociados a la ingeniería de procesos, logró que en el caso de la producción de biogás usando residuos urbanos y agropecuarios, reproducir los rendimientos de CH_4/m^3 en la producción de biogás, con volúmenes de producción bastante regulares y cercanos a los mínimos requeridos para la generación eléctrica de

forma continua. Pero las estimaciones de la generación eléctrica se limitaron al rendimiento teórico del equipamiento, y las emisiones de CO₂ por la combustión del biogás se limitaron a la información secundaria aplicada en el estudio bibliográfico. En el caso de la producción de biodiesel a partir de microalgas, los logros se limitan a la producción de biomasa en los fotobioreactores laminares, generando en los lapsos de funcionamiento rendimientos superiores a los reportados en España en su registro de patente, sin recibir la inyección de CO₂ de la combustión de biogás. De las pruebas de laboratorio a la biomasa seca, los resultados del contenido de lípidos resultó ambiguo, ya que los reportes entre los resultados en Ecuador y España difieren; por lo tanto, este coeficiente no fue concluyente. El porcentaje de proteínas en todas las muestras develó contenidos bastante competitivos e incluso superiores al porcentaje medio reportado por las materias primas usadas en la producción de pienso. El desarrollo de estudios complementarios que permitan completar el ciclo del análisis de los subproductos (fertilizantes líquidos y sólidos) en la producción de biogás aportarían información relevante para mejorar las evaluaciones de las estrategias de desarrollo en el marco del concepto de la economía circular.

En el marco base de evaluación propuesto y dentro de las métricas para optimizar el valor multidimensional de los recursos recuperados de los residuos en una economía circular, otra limitación de este estudio está representada por el Análisis Costo-Beneficio, el cual se considera como una herramienta de "equilibrio parcial" que es inadecuada para la evaluación a largo plazo (es decir, holística) de todo el sistema, cuando el único fin es el mercado secundario de residuos recuperados y se excluyen las externalidades que no tengan mercado secundario; en este contexto, el marco referente de evaluación en esta tesis considera el BCA como un elemento del conjunto de herramientas cuantitativas aplicadas, que abordan las externalidades complejas de un sistema mayor, complementa un análisis social en el contexto de la erradicación de la pobreza y relaciona una batería de métricas diversas en un análisis multicriterio; todo esto, sujeto a las fuentes de información oficiales disponibles en el caso de estudio. En consecuencia, para mejorar la capacidad de aplicación y puesta en marcha de las sinergias agricultura-bioenergía propuestas, es pertinente considerar como parte de la producción de biogás, los elementos no degradables considerados recursos recuperables, por lo que estudios relacionados que establezcan métricas técnicas que reflejen y capturen la funcionalidad de los materiales componentes y productos (MCP) son necesarios.

Además de lo anterior, es pertinente mencionar que antes de iniciar evaluaciones de impactos sociales, es recomendable identificar y analizar a las partes interesadas. Este estudio se limitó a inferir las expectativas y percepciones de los actores sociales, políticos y productivos, interpolando sus respuestas frente a iniciativas diversas; por lo tanto, incorporar un análisis de actores frente a la propuesta de las sinergias agricultura-bioenergía es necesario para que los participantes dentro de este flujo circular tengan una idea clara acerca de los beneficios económicos potenciales, las disparidades sociales, la reducción de residuos, carga ambiental y aprovechamiento de los materiales, ya que para incrementar la probabilidad de éxito en función del referente histórico de las estrategias bajo el concepto de la economía circular, se requiere un marco de evaluación, instrumentos de política (subvenciones, incentivos fiscales), objetivos claros y la participación del gobierno, la industria y la comunidad.

Referencias

- Ahmad, a. L., Yasin, N. H. M., Derek, C. J. C., & Lim, J. K. (2011). Microalgae as a sustainable energy source for biodiesel production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 584–593. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.018>
- Alkire, S., Foster, J. E., Seth, S., Santos, M. E., Roche, J. M., & Ballon, P. (2015). Multidimensional Poverty Measurement and Analysis: The Alkire-Foster Counting Methodology. *OPHI Working Paper 86*.
- Alkire, S., Roche, J. M., & Vaz, A. (2017). Changes Over Time in Multidimensional Poverty: Methodology and Results for 34 Countries. *World Development*, 94, 232–249. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2017.01.011>
- Álvarez, R., & Ruiz-Puente, C. (2017). Development of the Tool SymbioSyS to Support the Transition Towards a Circular Economy Based on Industrial Symbiosis Strategies. *Waste and Biomass Valorization*, 8(5), 1521–1530. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9748-1>
- Amaro, H. M., Guedes, a. C., & Malcata, F. X. (2011). Advances and perspectives in using microalgae to produce biodiesel. *Applied Energy*, 88(10), 3402–3410. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.12.014>
- Asamblea Constituyente. (2008). Constitución Del Ecuador. Retrieved from <http://www.wipo.int/edocs/lexdocs/laws/es/ec/ec030es.pdf>
- Ayllón, S., Mercader, M., & Ramos, X. (2014). *CARACTERIZACIÓN DE LA PRIVACIÓN Y DE LA POBREZA EN CATALUÑA* (No. Document de trenall 04.10). Retrieved from <http://www.ecap.uab.es/RePEc/doc/wpdea0410.pdf>
- BCE, B. C. del E. (2012). OIL SECTOR REPORT , IV Quarter 2012. Retrieved from <http://www.bce.fin.ec/index.php/component/k2/item/756>
- BCE, B. C. del E. (2013). Reference Taxes. Retrieved from <http://www.bce.fin.ec/index.php/component/k2/item/754>
- Binational Development Plan for the Ecuador-Peru Border Region, E. (1998). Peace Agreement. Retrieved from <http://planbinacional.gob.ec/wp->

content/uploads/2016/03/1-acuerdo-de-paz.pdf

- Binational Development Plan for the Ecuador-Peru Border Region, E. (2015). The Ecuador-Peru Border Integration Zone (BIF). Retrieved from <http://planbinacional.gob.ec/territorio-de-oportunidades/>
- Börjesson, P., & Berglund, M. (2007). Environmental systems analysis of biogas systems-Part II: The environmental impact of replacing various reference systems. *Biomass and Bioenergy*, 31, 326–344. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.01.004>
- Botello, H. (2013). Capital Social y Pobreza en Ecuador. *Anfora*, Vol 20, 96.
- Boulding, K. E. (1996). The Environment - The Economics of the Coming Spaceship Earth. In V. Lippit (Ed.), *Radical Political Economy: Explorations In Alternative Economic Analysis* (p. 402). Riverside, California: Routledge. Retrieved from <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=3PDqBgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT476&dq=energy+matter+information+knowledge&ots=le7vvkKuZg&sig=Gx9fynYaVEfXeksTw2yAw0hWApI#v=onepage&q=energy+matter+information+knowledge&f=false>
- Brealey, R. A., Allen, F., Myers, S. C., Izquierdo, M. Á. F., & Soria, L. N. (2006). *Principios de finanzas corporativas*. McGraw-Hill. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=KqwmAAAACAAJ>
- Brennan, L., & Owende, P. (2010). Biofuels from microalgae—A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(2), 557–577. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.009>
- Castillo, R., & Jácome, F. (2015). *Medición de la Pobreza Multidimensional en Ecuador. INEC - Ecuador*. Retrieved from <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/pobreza-multidimensional/>
- Cho, S., & Kim, T. (2017). Determinants of Poverty Status in Rwanda. *African Development Review*, 29(2), 337–349. <https://doi.org/10.1111/1467-8268.12260>
- Clark, J., & Deswarte, F. (2015). *Introduction to Chemicals from Biomass: Second Edition*. *Introduction to Chemicals from Biomass: Second Edition*.

- <https://doi.org/10.1002/9781118714478>
- CNEL, N. E. C. (2016). Tariff for Electrical Companies. Retrieved from <http://www.cnelep.gob.ec/pliego-tarifario-2/#toggle-id-1>
- Cuéllar, A. D., & Webber, M. E. (2008). Cow power: the energy and emissions benefits of converting manure to biogas. *Environmental Research Letters*, 3, 034002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/3/3/034002>
- Dixon, R. K. (2013). Algae based biofuels. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 18(May), 1–4. <https://doi.org/10.1007/s11027-012-9412-4>
- Dufey, A., & Stange, D. (2011). *Estudio regional sobre la economía de los biocombustibles en 2010: temas clave para los países de América Latina y el Caribe*. Retrieved from http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3906/LCW412_es.pdf?sequence=1
- EPA, U. E. P. A. (2013). *INVENTORY OF U.S. GREENHOUSE GAS EMISSIONS AND SINKS: 1990-2011*. Retrieved from <http://www.epa.gov/climatechange/Downloads/ghgemissions/US-GHG-Inventory-2013-Annexes.pdf>
- FAPRI, F. and A. P. R. I. (2012). FAPRI, Food and Agricultural Policy Research Institute. Retrieved from <http://www.fapri.iastate.edu/outlook/2012/>
- Fernández González, J. (2011). *PCT PCT/ES2011/000104-WO2011138477*. Spain. Retrieved from http://www.upm.es/observatorio/vi/index.jsp?pageac=innovacion/articulo.jsp&id_tipo_articulo=3&id_articulo=180
- Fytili, D., & Zabaniotou, A. (2017). Social acceptance of bioenergy in the context of climate change and sustainability – A review. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 8, 5–9. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2017.07.006>
- Galvis, L. A. (2010). Diferenciales salariales por género y región en Colombia: Una aproximación con regresión por cuantiles. *Revista de Economía Del Rosario*, 13(2), 235–257.

- García-Suaza, A. F., Guataquí, J. C., Guerra, J. A., & Maldonado, D. (2009). Beyond the Mincer Equation: the Internal Rate of Return to Higher Education in Colombia. *Education Economics*, 22(68), 1–17. <https://doi.org/10.1080/09645292.2011.595579>
- Geda, A., de Jong, N., Kimenyi, M. S., & Mwabu, G. (2005). Determinants of Poverty in Kenya: A Household Level Analysis. *Economic Working Papers - Digital Commons*, (August). <https://doi.org/ISSN 0921-0210>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Genovese, A., Acquaye, A. A., Figueroa, A., & Koh, S. C. L. (2017). Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications. *Omega*, 66, 344–357. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.05.015>
- George, D. A. R., Lin, B. C., & Chen, Y. (2015). A circular economy model of economic growth. *Environmental Modelling & Software*, 73, 60–63. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.06.014>
- Goyal, H. B., Seal, D., & Saxena, R. C. (2008). Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.07.014>
- Gujarati, D. N. (2015). *Econometría*. Mc Graw Hill (Vol. 7). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- IDB, I.-A. D. B. (2015). *Status of solid waste management in Latin America and the Caribbean*. Retrieved from https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7177/Situacion_de_la_gestion_de_residuos_solidos_en_America_Latina_y_el_Caribe.pdf?sequence=1
- IEA, I. E. A. (2009). *Renewables Information 2009*. Paris. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1787/renew-2009-en>
- IEA, I. E. A. (2013). *Key World Energy Statistics 2012*. Paris. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1787/key_energ_stat-2012-en

- IEA, I. E. A. (2016a). IEA Energy Atlas. Retrieved from <http://energyatlas.iea.org/#!/topic/DEFAULT>
- IEA, I. E. A. (2016b). *Key World Energy Statistics 2016*. Retrieved from <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2016.pdf>
- INEC, N. I. of S. and C. of E. (2014a). *ENEMDU - National Survey of Employment, Unemployment and Underemployment*. Ecuador. Retrieved from <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/enemdu-2014/>
- INEC, N. I. of S. and C. of E. (2014b). Viewer Ecuador Agricultural Statistics ESPAC. Retrieved from <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
- INEC, N. I. of S. and C. of E. (2017). Social and Demographic Statistics. Retrieved from <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/pobreza-por-ingresos/>
- INEI, N. I. of S. and I. (2014a). *ENAHO National Household Survey*. Peru. Retrieved from <http://iinei.inei.gob.pe/microdatos/>
- INEI, N. I. of S. and I. (2014b). Regional Information System for Decision-Making. Retrieved from <http://webinei.inei.gob.pe:8080/SIRTOD1/inicio.html#>
- IPCC. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.
- ISIS, I. for S. I. and S. (1996). *NAIADE Manual & tutorial*. Italy.
- ISIS, I. for S. I. and S. (1997). *NAIADE*. Italy: JRC Ispra.
- Johansson, D. A., & Azar, C. (2007). A scenario based analysis of land competition between food and bioenergy production in the US. *Climatic Change*, 82(3–4), 267–291. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9208-1>
- Kellogg, R. L., Lander, C. H., Moffitt, D. C., & Gollehon, N. (2000). Manure Nutrients Relative to The Capacity Of Cropland And Pastureland To Assimilate Nutrients: Spatial and Temporal Trends for the United States. *Proceedings of the Water Environment Federation*, 2000, 18–157. <https://doi.org/10.2175/193864700784994812>
- Kovacevic, V., & Wesseler, J. (2010). Cost-effectiveness analysis of algae energy

- production in the EU. *Energy Policy*, 38(10), 5749–5757. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.05.025>
- Lantz, M., Svensson, M., Björnsson, L., & Börjesson, P. (2007). The prospects for an expansion of biogas systems in Sweden - Incentives, barriers and potentials. *Energy Policy*, 35, 1819–1829. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.05.018>
- Leibovich, J., & Núñez, J. (1999). *LOS ACTIVOS Y RECURSOS DE LA POBLACION POBRE EN COLOMBIA* (No. Documento de Trabajo R-359). Retrieved from [https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/2033/Los activos y recursos de la población pobre en Colombia.pdf?sequence=1](https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/2033/Los%20activos%20y%20recursos%20de%20la%20poblaci%C3%B3n%20pobre%20en%20Colombia.pdf?sequence=1)
- Lekobane, K. R., & Seleka, T. B. (2017). Determinants of Household Welfare and Poverty in Botswana, 2002/2003 and 2009/2010. *Journal of Poverty*, 21(1), 42–60. <https://doi.org/10.1080/10875549.2016.1141381>
- Li, S. (2012). The Research on Quantitative Evaluation of Circular Economy Based on Waste Input-Output Analysis. *Procedia Environmental Sciences*, 12, 65–71. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.248>
- Lohri, C. R., Diener, S., Zabaleta, I., Mertenat, A., & Zurbrügg, C. (2017). Treatment technologies for urban solid biowaste to create value products: a review with focus on low- and middle-income settings. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 16(1), 81–130. <https://doi.org/10.1007/s11157-017-9422-5>
- Macias-Corral, M., Samani, Z., Hanson, A., Smith, G., Funk, P., Yu, H., & Longworth, J. (2008). Anaerobic digestion of municipal solid waste and agricultural waste and the effect of co-digestion with dairy cow manure. *Bioresource Technology*, 99(17), 8288–8293. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.03.057>
- Malcata, F. X. (2011). Microalgae and biofuels: a promising partnership? *Trends in Biotechnology*, 29(11), 542–9. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2011.05.005>
- MCE, M. de C. E. e I. (2018). *Informe Mensual de Comercio Exterior de Enero 2018*. Retrieved from <http://www.comercioexterior.gob.ec/informe-mensual-de-comercio-exterior/>
- MCSE, M. C. S. S. (2015). *National Energy Balance 2015. Chapters 4-7. National Energy Balance 2015 / Chapter 4. Energy consumption by sector and source / Chapter*

5. *Energy exports and imports* / Chapter 6. *Greenhouse gases emissions* / Chapter 7. *Energy and socioeconomics*. Retrieved from <http://www.sectoresestrategicos.gob.ec/balance-energetico/>
- Minowa, T., Yokoyama, S., Kishimoto, M., & Okakura, T. (1995). Oil production from algal cells of *Dunaliella tertiolecta* by direct thermochemical liquefaction. *Fuel*, 74(12), 1735–1738. [https://doi.org/10.1016/0016-2361\(95\)80001-X](https://doi.org/10.1016/0016-2361(95)80001-X)
- Morin, E. (1983). *El Método II. La Vida de la Vida*. (1980 Editons du Seuil, Ed.) (5th ed.). Madrid, España: Ediciones Cátedra (Grupo Anaya, S.A.). Retrieved from http://www.multiversidadreal.edu.mx/wp-content/uploads/2015/09/Morin-1980-El-Metodo-2-La-Vida-de-La-Vida_OCR-ClearScan.pdf
- Morin, E. (2001). *El Método I. La Naturaleza de la Naturaleza*. (1977 Editons du Seuil, Ed.) (6th ed.). Madrid, España: Ediciones Cátedra (Grupo Anaya, S.A.). Retrieved from <https://ciroespinoza.files.wordpress.com/2011/11/el-metodo-1-la-naturaleza-de-la-naturaleza.pdf>
- Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2017). The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. *Journal of Business Ethics*, 140(3), 369–380. <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2>
- OCDE/CEPAL. (2011). *Latin American Economic Outlook 2012: transforming the state for development*. Paris: OECD. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1787/leo-2012-es>
- Offermann, R., Seidenberger, T., Thrän, D., Kaltschmitt, M., Zinoviev, S., & Miertus, S. (2011). Assessment of global bioenergy potentials. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 16(1), 103–115. <https://doi.org/10.1007/s11027-010-9247-9>
- OSINERGIM, S. B. of I. in E. and M. (2013). *Analysis of the commercialization of liquid fuels in Peru year 2012*. Retrieved from http://www.osinergmin.gob.pe/newweb/uploads/GFH/SCOP-DOCS/Archivos-SCOP/Informe_Sector_Hidrocarburos_2012.pdf
- Patil, V., Tran, K.-Q., & Giselsrød, H. R. (2008). Towards sustainable production of biofuels from microalgae. *International Journal of Molecular Sciences*, 9(7), 1188–

95. <https://doi.org/10.3390/ijms9071188>
- Paz, J. A. (2001). La pobreza en la Argentina : Una comparación entre regiones disímiles (pp. 24–25). Buenos Aires: 2da. Reunión Anual sobre Pobreza y Distribución del Ingreso.
- Pearce, D. W., & Turner, R. K. (1990). Economics of natural resources and the environment. *The John Hopkins Univerity Press, Baltimore*.
<https://doi.org/10.2307/1242904>
- Ponce, J., & Bedi, A. S. (2010). The impact of a cash transfer program on cognitive achievement: The Bono de Desarrollo Humano of Ecuador. *Economics of Education Review*, 29(1), 116–125. <https://doi.org/10.1016/j.econedurev.2009.07.005>
- Popp, A., Calvin, K., Fujimori, S., Havlik, P., Humpenöder, F., Stehfest, E., ... Vuuren, D. P. van. (2017). Land-use futures in the shared socio-economic pathways. *Global Environmental Change*, 42, 331–345.
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.10.002>
- Rivera, J. (2013). Teoría y práctica de la discriminación en el Mercado Laboral Ecuatoriano (2007-2012). *Analitika*, 5(1), 7–22. Retrieved from http://www.analitika.ec/pdf/vol5/ANAJun2013_7_22.pdf
- Scheepens, A. E., Vogtländer, J. G., & Brezet, J. C. (2016). Two life cycle assessment (LCA) based methods to analyse and design complex (regional) circular economy systems. Case: making water tourism more sustainable. *Journal of Cleaner Production*, 114, 257–268. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.075>
- SENPLADES, N. S. of P. and D. (2009). *National Plan for Good Living 2009-2013 : Building a Plurinational and Intercultural State*. Quito: National Planning and Development Secretariat – SENPLADES, 2009.
- SENPLADES, N. S. of P. and D. (2013). *National Plan for Good Living 2013-2017: A better world for everyone* (First Edit). Quito: National Secretariat of Planning and Development (Senplades) 2013.
- SENPLADES, N. S. of P. and D. (2017). Plan nacional de desarrollo 2017-2021 ‘Toda una Vida’. *Senplades*, 1–148. Retrieved from http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf

- Service RF. (2011). Algae's second try. *Science*, 333, 1238–1239.
- Stahel, W. R. (2017). Analysis of the structure and values of the European Commission's Circular Economy Package. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Waste and Resource Management*, 170(1), 41–44. <https://doi.org/10.1680/jwarm.17.00009>
- UN, U. N. (2015a). *Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015, Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development* (Vol. 16301). Retrieved from http://www.un.org/en/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E
- UN, U. N. (2015b). Sustainable Development Goals. Retrieved from <http://www.un.org/sustainabledevelopment/>
- Vega-Quezada, C. A., Blanco Fonseca, M., & Romero Bonilla, H. (2016). The circular agriculture applied in neighboring countries: the case of biogas on the border between Ecuador and Peru. *New Biotechnology*, 33, S66–S67. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2016.06.953>
- Vega-Quezada, C. A., Blanco, M., & Romero Bonilla, H. (2016). Production of Bioenergy in the Framework of Circular Economy: A Sustainable Circular System in Ecuador. In L. Kumar Singh & G. Chaudhary (Eds.), *Advances in Biofeedstocks and Biofuels: Volume 1 - Biofeedstocks and Their Processing* (1st ed., p. 192). Canada: John Wiley & Sons Inc.
- Vega-Quezada, C. A., Blanco, M., & Romero Bonilla, H. (2017). Synergies between agriculture and bioenergy in Latin American countries: A circular economy strategy for bioenergy production in Ecuador. *New Biotechnology*, 39, 81–89. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2016.06.730>
- Verdú, C. A., & Rodríguez, M. D. (2011). Pobreza monetaria, exclusión educativa y privación material de los jóvenes. *Revista de Economía Aplicada*, 19(56), 59–88.
- Wang, B., Li, Y., Wu, N., & Lan, C. Q. (2008). CO₂ bio-mitigation using microalgae. *Applied Microbiology and Biotechnology*. <https://doi.org/10.1007/s00253-008-1518-y>
- Winans, K., Kendall, A., & Deng, H. (2017). The history and current applications of the circular economy concept. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 825–

833. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.123>

Zengwei, Y., Jun, B., & Moriguchi, Y. (2006). The Circular Economy: A New Development Strategy in China. *Journal of Industrial Ecology*, 10, 4–8. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=19573966&lang=pt-br&site=ehost-live>

Zhang, Y., Liu, X., White, M. A., & Colosi, L. M. (2017). Economic evaluation of algae biodiesel based on meta-analyses. *International Journal of Sustainable Energy*, 36(7), 682–694. <https://doi.org/10.1080/14786451.2015.1086766>

Anexos

ANEXO A: Tablas – Pobreza Multidimensional y Datos de Corte Transversal

Table A.1: Levels, Changes and Statistical Significance of Changes in MPI_T

Country / Provinces	Multidimensional Poverty Index (MPIT)				Annualized Change		t-statistic for difference	
	Year 1	Std. Err.	Year 2	Std. Err.	Absolute	%Relative		
National Level								
Ecuador 2009-2013	0.272	0.000	0.190	0.000	-0.021	-8.6%	53.48	***
Ecuador 2014-2016	0.181	0.000	0.169	0.000	-0.006	-3.5%	18.31	***
Subnational Level								
Azuay 2009-2013	0.219	0.000	0.157	0.000	-0.015	-7.9%	9.99	***
Azuay 2014-2016	0.123	0.000	0.127	0.000	0.002	1.7%	-2.06	**
Bolívar 2009-2013	0.462	0.001	0.383	0.001	-0.020	-4.6%	9.07	***
Bolívar 2014-2016	0.343	0.001	0.231	0.001	-0.056	-17.9%	12.49	***
Cañar 2009-2013	0.332	0.001	0.237	0.001	-0.024	-8.1%	8.93	***
Cañar 2014-2016	0.220	0.001	0.181	0.000	-0.020	-9.3%	6.75	***
Carchi 2009-2013	0.252	0.001	0.173	0.001	-0.020	-8.9%	11.77	***
Carchi 2014-2016	0.175	0.001	0.133	0.000	-0.021	-12.8%	12.37	***
Chimborazo 2009-2013	0.368	0.000	0.333	0.000	-0.009	-2.5%	8.47	***
Chimborazo 2014-2016	0.264	0.000	0.267	0.000	0.001	0.5%	7.98	***
Cotopaxi 2009-2013	0.364	0.000	0.265	0.000	-0.025	-7.6%	9.20	***
Cotopaxi 2014-2016	0.253	0.000	0.256	0.000	0.001	0.5%	6.01	***
El Oro 2009-2013	0.204	0.000	0.121	0.000	-0.021	-12.2%	15.27	***
El Oro 2014-2016	0.118	0.000	0.119	0.000	0.000	0.2%	0.12	
Esmeraldas 2009-2013	0.350	0.000	0.302	0.000	-0.012	-3.7%	7.07	***
Esmeraldas 2014-2016	0.291	0.000	0.307	0.000	0.008	2.7%	6.83	***
Galápagos 2014-2016	0.037	0.001	0.044	0.001	0.004	9.4%	1.08	
Guayas 2009-2013	0.234	0.000	0.167	0.000	-0.017	-8.2%	24.43	***
Guayas 2014-2016	0.169	0.000	0.143	0.000	-0.013	-7.9%	2.01	**
Imbabura 2009-2013	0.266	0.000	0.142	0.000	-0.031	-14.6%	21.14	***
Imbabura 2014-2016	0.151	0.000	0.114	0.000	-0.018	-13.0%	12.42	***
Loja 2009-2013	0.332	0.000	0.235	0.000	-0.024	-8.2%	5.35	***
Loja 2014-2016	0.204	0.000	0.160	0.000	-0.022	-11.3%	5.88	***
Los Ríos 2009-2013	0.384	0.000	0.309	0.000	-0.019	-5.3%	13.59	***
Los Ríos 2014-2016	0.297	0.000	0.252	0.000	-0.023	-7.9%	7.50	***
Manabí 2009-2013	0.354	0.000	0.280	0.000	-0.019	-5.7%	9.92	***
Manabí 2014-2016	0.246	0.000	0.247	0.000	0.001	0.4%	2.20	***
Morona Santiago 2009-2013	0.460	0.001	0.337	0.001	-0.031	-7.5%	3.41	***
Morona Santiago 2014-2016	0.412	0.001	0.388	0.001	-0.012	-2.9%	6.50	***
Napo 2009-2013	0.424	0.001	0.258	0.001	-0.042	-11.7%	10.53	***
Napo 2014-2016	0.308	0.001	0.342	0.001	0.017	5.5%	-2.97	***
Orellana 2009-2013	0.478	0.001	0.301	0.001	-0.044	-10.9%	6.41	***
Orellana 2014-2016	0.325	0.001	0.313	0.001	-0.006	-1.9%	-5.87	***
Pastaza 2009-2013	0.321	0.001	0.304	0.001	-0.004	-1.4%	3.30	***
Pastaza 2014-2016	0.310	0.001	0.441	0.001	0.065	19.2%	-0.31	
Pichincha 2009-2013	0.082	0.000	0.048	0.000	-0.008	-12.5%	18.46	***
Pichincha 2014-2016	0.051	0.000	0.064	0.000	0.007	12.4%	-4.26	***
Santa Elena 2009-2013	0.380	0.000	0.214	0.000	-0.042	-13.4%	26.40	***
Santa Elena 2014-2016	0.229	0.000	0.181	0.000	-0.024	-11.1%	7.46	***
Santo Domingo 2009-2013	0.381	0.000	0.265	0.000	-0.029	-8.7%	11.77	***
Santo Domingo 2014-2016	0.193	0.000	0.177	0.000	-0.008	-4.1%	2.95	***
Sucumbíos 2009-2013	0.286	0.001	0.278	0.001	-0.002	-0.7%	0.14	
Sucumbíos 2014-2016	0.275	0.001	0.297	0.001	0.011	4.0%	0.77	
Tungurahua 2009-2013	0.250	0.000	0.161	0.000	-0.022	-10.4%	13.81	***
Tungurahua 2014-2016	0.189	0.000	0.133	0.000	-0.028	-16.1%	5.39	***
Zamora Chinchipe 2009-2013	0.392	0.001	0.215	0.001	-0.044	-13.9%	6.11	***
Zamora Chinchipe 2014-2016	0.259	0.001	0.275	0.001	0.008	3.0%	3.42	***
Zonas no delimitadas 2009-2013	0.487	0.001	0.453	0.001	-0.008	-1.8%	-2.62	***
Zonas no delimitadas 2014-2016	0.408	0.001	0.397	0.001	-0.006	-1.4%	2.50	**

Note: *** statistically significant at $\alpha=0.01$, ** statistically significant at $\alpha=0.05$, * statistically significant at $\alpha=0.10$

Table A.2: Levels, Changes and Statistical Significance of Changes in Incidence (H_T)

Country / Provinces	Multidimensional Hadcount Ratio (H _T %)				Annualized Change		t-statistic for difference	
	Year 1	Std. Err.	Year 2	Std. Err.	Absolute	%Relative		
National Level								
Ecuador 2009-2013	51.5	0.0	38.7	0.0	-3.2	-6.9%	44.77	***
Ecuador 2014-2016	37.4	0.0	35.1	0.0	-1.1	-3.1%	17.12	***
Subnational Level								
Azuay 2009-2013	42.7	0.1	33.6	0.1	-2.3	-5.8%	8.66	***
Azuay 2014-2016	27.1	0.0	28.7	0.0	0.8	3.0%	-2.18	**
Bolívar 2009-2013	77.7	0.1	67.8	0.1	-2.5	-3.4%	7.49	***
Bolívar 2014-2016	63.1	0.1	45.4	0.1	-8.8	-15.1%	10.33	***
Cañar 2009-2013	62.3	0.1	46.2	0.1	-4.0	-7.2%	9.04	***
Cañar 2014-2016	44.4	0.1	38.6	0.1	-2.9	-6.7%	5.35	***
Carchi 2009-2013	51.0	0.1	37.7	0.1	-3.3	-7.3%	10.49	***
Carchi 2014-2016	37.7	0.1	29.9	0.1	-3.9	-11.0%	10.83	***
Chimborazo 2009-2013	61.2	0.1	61.5	0.1	0.1	0.1%	5.52	***
Chimborazo 2014-2016	48.9	0.1	52.4	0.1	1.7	3.5%	6.25	***
Cotopaxi 2009-2013	63.0	0.1	51.5	0.1	-2.9	-4.9%	7.30	***
Cotopaxi 2014-2016	49.1	0.1	49.6	0.1	0.2	0.5%	5.37	***
El Oro 2009-2013	43.3	0.1	27.7	0.1	-3.9	-10.6%	13.37	***
El Oro 2014-2016	27.5	0.1	27.4	0.1	0.0	-0.1%	0.12	
Esmeraldas 2009-2013	63.6	0.1	57.3	0.1	-1.6	-2.5%	3.65	***
Esmeraldas 2014-2016	56.2	0.1	57.4	0.1	0.6	1.0%	7.85	***
Galápagos 2014-2016	9.4	0.2	10.5	0.2	0.6	5.9%	1.64	*
Guayas 2009-2013	46.4	0.0	36.0	0.0	-2.6	-6.2%	20.35	***
Guayas 2014-2016	36.4	0.0	31.1	0.0	-2.6	-7.5%	2.35	**
Imbabura 2009-2013	50.9	0.1	30.6	0.1	-5.1	-12.0%	17.47	***
Imbabura 2014-2016	31.7	0.1	26.5	0.1	-2.6	-8.5%	9.48	***
Loja 2009-2013	58.0	0.1	44.2	0.1	-3.4	-6.6%	3.77	***
Loja 2014-2016	40.6	0.1	34.2	0.1	-3.2	-8.2%	5.06	***
Los Ríos 2009-2013	73.3	0.1	63.1	0.1	-2.6	-3.7%	9.05	***
Los Ríos 2014-2016	61.5	0.1	53.4	0.1	-4.1	-6.8%	7.62	***
Manabí 2009-2013	65.5	0.0	55.4	0.0	-2.5	-4.1%	6.74	***
Manabí 2014-2016	50.1	0.0	50.5	0.0	0.2	0.4%	2.10	**
Morona Santiago 2009-2013	71.3	0.1	55.1	0.1	-4.0	-6.2%	3.89	***
Morona Santiago 2014-2016	65.6	0.1	63.4	0.1	-1.1	-1.7%	4.98	***
Napo 2009-2013	71.5	0.1	43.6	0.1	-7.0	-11.6%	11.31	***
Napo 2014-2016	56.4	0.1	60.7	0.1	2.1	3.7%	-1.49	
Orellana 2009-2013	79.7	0.1	55.3	0.1	-6.1	-8.7%	5.00	***
Orellana 2014-2016	59.8	0.1	53.3	0.1	-3.3	-5.6%	-1.98	**
Pastaza 2009-2013	55.5	0.2	52.6	0.2	-0.7	-1.4%	3.87	***
Pastaza 2014-2016	51.2	0.2	66.9	0.1	7.8	14.2%	-0.69	
Pichincha 2009-2013	17.8	0.0	11.2	0.0	-1.6	-11.0%	16.73	***
Pichincha 2014-2016	11.5	0.0	14.4	0.0	1.4	11.6%	-4.32	***
Santa Elena 2009-2013	73.2	0.1	48.4	0.1	-6.2	-9.8%	21.20	***
Santa Elena 2014-2016	50.5	0.1	40.6	0.1	-5.0	-10.4%	6.93	***
Santo Domingo 2009-2013	73.1	0.1	54.0	0.1	-4.8	-7.3%	9.18	***
Santo Domingo 2014-2016	42.1	0.1	38.4	0.1	-1.9	-4.5%	3.20	***
Sucumbíos 2009-2013	55.9	0.1	54.8	0.1	-0.3	-0.5%	0.45	
Sucumbíos 2014-2016	54.4	0.1	56.7	0.1	1.1	2.1%	1.02	
Tungurahua 2009-2013	49.2	0.1	35.2	0.1	-3.5	-8.0%	11.85	***
Tungurahua 2014-2016	39.8	0.1	30.4	0.1	-4.7	-12.7%	2.84	***
Zamora Chinchipe 2009-2013	69.0	0.2	42.1	0.2	-6.7	-11.6%	6.17	***
Zamora Chinchipe 2014-2016	49.0	0.2	50.8	0.1	0.9	1.8%	2.61	***
Zonas no delimitadas 2009-2013	87.7	0.1	84.4	0.2	-0.8	-1.0%	-2.55	***
Zonas no delimitadas 2014-2016	82.6	0.2	78.8	0.2	-1.9	-2.3%	2.95	***

Note: *** statistically significant at $\alpha=0.01$, ** statistically significant at $\alpha=0.05$, * statistically significant at $\alpha=0.10$

Table A.3: Levels, Changes and Statistical Significance of Changes in Intensity
(A_T)

Country / Provinces	Intensity of poverty (A _T %)				Anualized Change		t-statistic for difference	
	Year 1	Std. Err.	Year 2	Std. Err.	Absolute	%Relative		
National Level								
Ecuador 2009-2013	52.9	0.0	49.1	0.0	-0.9	-1.8%	32.72	***
Ecuador 2014-2016	48.5	0.0	48.1	0.0	-0.2	-0.4%	6.49	***
Subnational Level								
Azuay 2009-2013	51.3	0.0	46.9	0.0	-1.1	-2.2%	5.85	***
Azuay 2014-2016	45.3	0.0	44.2	0.0	-0.5	-1.2%	0.29	
Bolívar 2009-2013	59.4	0.0	56.5	0.0	-0.7	-1.2%	5.70	***
Bolívar 2014-2016	54.4	0.0	50.9	0.0	-1.7	-3.3%	7.72	***
Cañar 2009-2013	53.2	0.0	51.2	0.0	-0.5	-0.9%	1.32	
Cañar 2014-2016	49.6	0.0	46.9	0.0	-1.4	-2.8%	5.54	***
Carchi 2009-2013	49.3	0.0	46.0	0.0	-0.8	-1.7%	5.58	***
Carchi 2014-2016	46.5	0.0	44.6	0.0	-0.9	-2.0%	7.24	***
Chimborazo 2009-2013	60.1	0.0	54.1	0.0	-1.5	-2.6%	9.32	***
Chimborazo 2014-2016	54.1	0.0	51.0	0.0	-1.5	-2.9%	6.32	***
Cotopaxi 2009-2013	57.7	0.0	51.4	0.0	-1.6	-2.9%	6.60	***
Cotopaxi 2014-2016	51.6	0.0	51.7	0.0	0.0	0.1%	2.76	***
El Oro 2009-2013	47.0	0.0	43.8	0.0	-0.8	-1.8%	8.43	***
El Oro 2014-2016	43.0	0.0	43.3	0.0	0.1	0.3%	0.01	
Esmeraldas 2009-2013	55.1	0.0	52.6	0.0	-0.6	-1.2%	9.24	***
Esmeraldas 2014-2016	51.8	0.0	53.5	0.0	0.9	1.7%	-1.42	
Galápagos 2014-2016	39.0	0.1	41.7	0.1	1.3	3.3%	-3.06	***
Guayas 2009-2013	50.5	0.0	46.4	0.0	-1.0	-2.1%	15.60	***
Guayas 2014-2016	46.3	0.0	46.0	0.0	-0.2	-0.4%	-0.92	
Imbabura 2009-2013	52.2	0.0	46.4	0.0	-1.5	-2.9%	13.53	***
Imbabura 2014-2016	47.6	0.0	43.1	0.0	-2.2	-4.8%	12.72	***
Loja 2009-2013	57.2	0.0	53.3	0.0	-1.0	-1.8%	5.09	***
Loja 2014-2016	50.1	0.0	46.8	0.0	-1.7	-3.4%	3.47	***
Los Ríos 2009-2013	52.3	0.0	49.0	0.0	-0.8	-1.6%	13.22	***
Los Ríos 2014-2016	48.2	0.0	47.1	0.0	-0.6	-1.2%	0.98	
Manabí 2009-2013	54.0	0.0	50.5	0.0	-0.9	-1.7%	9.55	***
Manabí 2014-2016	49.0	0.0	49.0	0.0	0.0	-0.1%	0.64	
Morona Santiago 2009-2013	64.4	0.1	61.1	0.1	-0.8	-1.3%	-0.46	
Morona Santiago 2014-2016	62.7	0.0	61.2	0.0	-0.8	-1.2%	4.98	***
Napo 2009-2013	59.3	0.1	59.1	0.1	0.0	-0.1%	0.40	
Napo 2014-2016	54.6	0.1	56.4	0.1	0.9	1.7%	-4.24	***
Orellana 2009-2013	59.9	0.0	54.4	0.1	-1.4	-2.4%	4.45	***
Orellana 2014-2016	54.4	0.1	58.7	0.1	2.2	3.9%	-10.01	***
Pastaza 2009-2013	57.8	0.1	57.8	0.1	0.0	0.0%	-0.82	
Pastaza 2014-2016	60.6	0.1	66.0	0.1	2.7	4.3%	0.85	
Pichincha 2009-2013	46.1	0.0	42.9	0.0	-0.8	-1.7%	8.62	***
Pichincha 2014-2016	43.8	0.0	44.4	0.0	0.3	0.7%	-0.29	
Santa Elena 2009-2013	52.0	0.0	44.2	0.0	-1.9	-4.0%	17.08	***
Santa Elena 2014-2016	45.3	0.0	44.6	0.0	-0.3	-0.8%	2.96	***
Santo Domingo 2009-2013	52.2	0.0	49.0	0.0	-0.8	-1.6%	8.47	***
Santo Domingo 2014-2016	45.9	0.0	46.2	0.0	0.2	0.4%	-0.57	
Sucumbíos 2009-2013	51.2	0.0	50.7	0.0	-0.1	-0.3%	-0.83	
Sucumbíos 2014-2016	50.5	0.0	52.4	0.0	1.0	1.9%	-0.50	
Tungurahua 2009-2013	50.8	0.0	45.7	0.0	-1.3	-2.6%	8.26	***
Tungurahua 2014-2016	47.4	0.0	43.7	0.0	-1.8	-3.9%	10.24	***
Zamora Chinchipe 2009-2013	56.8	0.1	51.2	0.1	-1.4	-2.6%	1.06	
Zamora Chinchipe 2014-2016	52.9	0.1	54.2	0.1	0.6	1.2%	2.70	***
Zonas no delimitadas 2009-2013	55.5	0.0	53.7	0.1	-0.4	-0.8%	-0.71	
Zonas no delimitadas 2014-2016	49.4	0.1	50.4	0.1	0.5	1.0%	-0.24	

Note: *** statistically significant at $\alpha=0.01$, ** statistically significant at $\alpha=0.05$, * statistically significant at $\alpha=0.10$

**Table A.4: Comparison between Change in Annualized Incidence of MPI and
Income-poverty**

Country / Provinces	MPI Headcount Ratio (H _T)				Annualized Change		Income Poverty		Annualized Change	
	Year 1	Std. Err	Year 2	Std. Err	Absolute	%Relative	Year 1	Year 2	Absolute	%Relative
National Level										
Ecuador 2009-2013	51.5	0.0	38.7	0.0	-3.2	-6.9%	36.0	25.6	-2.6	-8.2%
Ecuador 2014-2016	37.4	0.0	35.1	0.0	-1.1	-3.1%	22.5	22.9	0.2	1.0%
Subnational Level										
Azuay 2009-2013	42.7	0.1	33.6	0.1	-2.3	-5.8%	29.9	18.8	-2.8	-10.9%
Azuay 2014-2016	27.1	0.0	28.7	0.0	0.8	3.0%	15.1	15.0	0.0	-0.3%
Bolívar 2009-2013	77.7	0.1	67.8	0.1	-2.5	-3.4%	64.9	49.1	-4.0	-6.8%
Bolívar 2014-2016	63.1	0.1	45.4	0.1	-8.8	-15.1%	43.7	36.6	-3.6	-8.5%
Cañar 2009-2013	62.3	0.1	46.2	0.1	-4.0	-7.2%	42.5	31.1	-2.8	-7.5%
Cañar 2014-2016	44.4	0.1	38.6	0.1	-2.9	-6.7%	24.6	24.4	-0.1	-0.5%
Carchi 2009-2013	51.0	0.1	37.7	0.1	-3.3	-7.3%	52.9	29.0	-6.0	-13.9%
Carchi 2014-2016	37.7	0.1	29.9	0.1	-3.9	-11.0%	30.2	35.2	2.5	7.8%
Chimborazo 2009-2013	61.2	0.1	61.5	0.1	0.1	0.1%	54.9	41.4	-3.4	-6.8%
Chimborazo 2014-2016	48.9	0.1	52.4	0.1	1.7	3.5%	35.3	44.0	4.4	11.7%
Cotopaxi 2009-2013	63.0	0.1	51.5	0.1	-2.9	-4.9%	48.3	28.1	-5.1	-12.7%
Cotopaxi 2014-2016	49.1	0.1	49.6	0.1	0.2	0.5%	22.1	29.9	3.9	16.4%
El Oro 2009-2013	43.3	0.1	27.7	0.1	-3.9	-10.6%	30.3	17.5	-3.2	-12.9%
El Oro 2014-2016	27.5	0.1	27.4	0.1	0.0	-0.1%	17.0	18.3	0.7	3.8%
Esmeraldas 2009-2013	63.6	0.1	57.3	0.1	-1.6	-2.5%	53.9	46.1	-1.9	-3.8%
Esmeraldas 2014-2016	56.2	0.1	57.4	0.1	0.6	1.0%	41.3	43.1	0.9	2.1%
Galápagos 2014-2016	9.4	0.2	10.5	0.2	0.6	5.9%	0.0	0.4	0.2	-
Guayas 2009-2013	46.4	0.0	36.0	0.0	-2.6	-6.2%	25.6	23.2	-0.6	-2.4%
Guayas 2014-2016	36.4	0.0	31.1	0.0	-2.6	-7.5%	18.5	17.7	-0.4	-2.1%
Imbabura 2009-2013	50.9	0.1	30.6	0.1	-5.1	-12.0%	44.4	28.5	-4.0	-10.5%
Imbabura 2014-2016	31.7	0.1	26.5	0.1	-2.6	-8.5%	24.9	27.8	1.4	5.6%
Loja 2009-2013	58.0	0.1	44.2	0.1	-3.4	-6.6%	42.5	32.0	-2.6	-6.8%
Loja 2014-2016	40.6	0.1	34.2	0.1	-3.2	-8.2%	28.3	27.5	-0.4	-1.3%
Los Ríos 2009-2013	73.3	0.1	63.1	0.1	-2.6	-3.7%	40.8	34.4	-1.6	-4.1%
Los Ríos 2014-2016	61.5	0.1	53.4	0.1	-4.1	-6.8%	32.1	25.3	-3.4	-11.2%
Manabí 2009-2013	65.5	0.0	55.4	0.0	-2.5	-4.1%	42.8	36.6	-1.5	-3.8%
Manabí 2014-2016	50.1	0.0	50.5	0.0	0.2	0.4%	30.8	25.2	-2.8	-9.5%
Morona Santiago 2009-2013	71.3	0.1	55.1	0.1	-4.0	-6.2%	62.0	45.4	-4.1	-7.5%
Morona Santiago 2014-2016	65.6	0.1	63.4	0.1	-1.1	-1.7%	51.8	50.6	-0.6	-1.1%
Napo 2009-2013	71.5	0.1	43.6	0.1	-7.0	-11.6%	72.9	35.9	-9.3	-16.3%
Napo 2014-2016	56.4	0.1	60.7	0.1	2.1	3.7%	40.1	49.8	4.8	11.4%
Orellana 2009-2013	79.7	0.1	55.3	0.1	-6.1	-8.7%	67.7	36.2	-7.9	-14.5%
Orellana 2014-2016	59.8	0.1	53.3	0.1	-3.3	-5.6%	36.8	42.3	2.8	7.3%
Pastaza 2009-2013	55.5	0.2	52.6	0.2	-0.7	-1.4%	50.2	32.5	-4.4	-10.3%
Pastaza 2014-2016	51.2	0.2	66.9	0.1	7.8	14.2%	37.9	56.4	9.3	22.0%
Pichincha 2009-2013	17.8	0.0	11.2	0.0	-1.6	-11.0%	14.7	9.1	-1.4	-11.2%
Pichincha 2014-2016	11.5	0.0	14.4	0.0	1.4	11.6%	9.4	13.6	2.1	20.0%
Santa Elena 2009-2013	73.2	0.1	48.4	0.1	-6.2	-9.8%	57.0	34.3	-5.7	-11.9%
Santa Elena 2014-2016	50.5	0.1	40.6	0.1	-5.0	-10.4%	32.9	27.6	-2.7	-8.5%
Santo Domingo 2009-2013	73.1	0.1	54.0	0.1	-4.8	-7.3%	48.2	33.3	-3.7	-8.8%
Santo Domingo 2014-2016	42.1	0.1	38.4	0.1	-1.9	-4.5%	20.4	16.6	-1.9	-9.8%
Sucumbíos 2009-2013	55.9	0.1	54.8	0.1	-0.3	-0.5%	50.4	34.8	-3.9	-8.8%
Sucumbíos 2014-2016	54.4	0.1	56.7	0.1	1.1	2.1%	31.8	37.9	3.0	9.1%
Tungurahua 2009-2013	49.2	0.1	35.2	0.1	-3.5	-8.0%	33.4	20.0	-3.3	-12.0%
Tungurahua 2014-2016	39.8	0.1	30.4	0.1	-4.7	-12.7%	20.9	21.8	0.5	2.2%
Zamora Chinchipe 2009-2013	69.0	0.2	42.1	0.2	-6.7	-11.6%	51.7	24.3	-6.9	-17.2%
Zamora Chinchipe 2014-2016	49.0	0.2	50.8	0.1	0.9	1.8%	34.6	37.0	1.2	3.4%
Zonas no delimitadas 2009-2013	87.7	0.1	84.4	0.2	-0.8	-1.0%	39.5	12.9	-6.7	-24.4%
Zonas no delimitadas 2014-2016	82.6	0.2	78.8	0.2	-1.9	-2.3%	29.8	24.6	-2.6	-9.2%

Table A.5: Annualized Change in the Number of Poor

Country / Provinces	MPI Headcount H _T (%)		Population (in thousand)		Total MPI poor (in thousand)			
	Year 1	Year 2	Year 1	Year 2	Year 1	Year 2	Annual absolute change (p-p)	Annual relative change (%)
National Level								
Ecuador 2009-2013	51.5	38.7	13804	15783	7105	6101	-251	-3.7%
Ecuador 2014-2016	37.4	35.1	16060	16597	6001	5825	-88	-1.5%
Subnational Level								
Azuay 2009-2013	42.7	33.6	702	786	300	264	-9	-3.1%
Azuay 2014-2016	27.1	28.7	801	838	217	241	12	5.3%
Bolívar 2009-2013	77.7	67.8	182	198	141	134	-2	-1.3%
Bolívar 2014-2016	63.1	45.4	199	206	125	94	-16	-13.5%
Cañar 2009-2013	62.3	46.2	230	251	144	116	-7	-5.2%
Cañar 2014-2016	44.4	38.6	255	267	113	103	-5	-4.5%
Carchi 2009-2013	51.0	37.7	165	174	84	66	-5	-6.1%
Carchi 2014-2016	37.7	29.9	172	180	65	54	-6	-9.0%
Chimborazo 2009-2013	61.2	61.5	455	492	278	303	6	2.1%
Chimborazo 2014-2016	48.9	52.4	498	509	243	266	12	4.6%
Cotopaxi 2009-2013	63.0	51.5	418	444	264	229	-9	-3.5%
Cotopaxi 2014-2016	49.1	49.6	452	467	222	231	5	2.2%
El Oro 2009-2013	43.3	27.7	633	656	274	182	-23	-9.8%
El Oro 2014-2016	27.5	27.4	658	684	181	187	3	1.8%
Esmeraldas 2009-2013	63.6	57.3	449	582	285	334	12	4.0%
Esmeraldas 2014-2016	56.2	57.4	592	611	333	351	9	2.7%
Galápagos 2014-2016	9.4	10.5	29	30	3	3	0	8.8%
Guayas 2009-2013	46.4	36.0	3038	3986	1410	1434	6	0.4%
Guayas 2014-2016	36.4	31.1	4043	4155	1473	1294	-89	-6.3%
Imbabura 2009-2013	50.9	30.6	409	428	208	131	-19	-11.0%
Imbabura 2014-2016	31.7	26.5	438	450	139	119	-10	-7.3%
Loja 2009-2013	58.0	44.2	441	484	256	214	-10	-4.4%
Loja 2014-2016	40.6	34.2	493	503	200	172	-14	-7.3%
Los Ríos 2009-2013	73.3	63.1	768	847	563	534	-7	-1.3%
Los Ríos 2014-2016	61.5	53.4	858	884	528	472	-28	-5.4%
Manabí 2009-2013	65.5	55.4	1352	1471	886	815	-18	-2.1%
Manabí 2014-2016	50.1	50.5	1489	1510	746	763	9	1.1%
Morona Santiago 2009-2013	71.3	55.1	136	149	97	82	-4	-4.1%
Morona Santiago 2014-2016	65.6	63.4	172	184	113	117	2	1.6%
Napo 2009-2013	71.5	43.6	99	111	71	48	-6	-9.1%
Napo 2014-2016	56.4	60.7	117	125	66	76	5	7.2%
Orellana 2009-2013	79.7	55.3	118	157	94	87	-2	-2.0%
Orellana 2014-2016	59.8	53.3	148	154	89	82	-3	-3.6%
Pastaza 2009-2013	55.5	52.6	81	106	45	55	3	5.5%
Pastaza 2014-2016	51.2	66.9	97	105	50	70	10	18.7%
Pichincha 2009-2013	17.8	11.2	2117	2837	376	317	-15	-4.2%
Pichincha 2014-2016	11.5	14.4	2890	3000	334	432	49	13.7%
Santa Elena 2009-2013	73.2	48.4	652	346	477	168	-77	-23.0%
Santa Elena 2014-2016	50.5	40.6	354	371	179	151	-14	-8.2%
Santo Domingo 2009-2013	73.1	54.0	495	402	362	217	-36	-12.0%
Santo Domingo 2014-2016	42.1	38.4	413	430	174	165	-4	-2.6%
Sucumbios 2009-2013	55.9	54.8	172	198	96	109	3	3.2%
Sucumbios 2014-2016	54.4	56.7	200	215	109	122	7	5.8%
Tungurahua 2009-2013	49.2	35.2	514	540	253	190	-16	-6.9%
Tungurahua 2014-2016	39.8	30.4	550	564	219	171	-24	-11.5%
Zamora Chinchipe 2009-2013	69.0	42.1	88	101	61	42	-5	-8.6%
Zamora Chinchipe 2014-2016	49.0	50.8	106	112	52	57	3	5.0%
Zonas no delimitadas 2009-2013	87.7	84.4	91	37	80	31	-12	-21.1%
Zonas no delimitadas 2014-2016	82.6	78.8	37	40	31	31	0	0.6%

Table A.6: Annualized Absolute Change in Raw Headcount Ratios (percentage points)

Country / Provinces	Ind1_1 Inasistencia a educación básica y bachillerato	Ind1_2 No acceso a educación superior por razones económicas	Ind1_3 Logro educativo incompleto	Ind2_1 Empleo infantil y adolescente	Ind2_2 Desempleo o empleo inadecuado	Ind2_3 No contribución al sistema de pensiones	Ind3_1 Pobreza extrema por ingresos	Ind3_2 Sin servicio de agua por red pública	Ind4_1 Hacinamiento	Ind4_2 Déficit habitacional	Ind4_3 Sin saneamiento de excretas	Ind4_4 Sin servicio de recolección de basura
National Level												
Ecuador 2009-2013	-1.6 ***	-0.4 ***	-1.3 ***	-1.5 ***	-2.3 ***	-3.2 ***	-1.7 ***	-1.7 ***	-1.4 ***	-2.3 ***	-1.8 ***	-2.5 ***
Ecuador 2014-2016	-0.9 ***	1.1 ***	-1.7 ***	0.8 ***	3.8 ***	1.0 ***	0.5 ***	-3.3 ***	-0.9 ***	-1.9 ***	-0.9 ***	-1.0 ***
Subnational Level												
Azuay 2009-2013	-1.1 ***	0.2 ***	-1.3 ***	-0.8 ***	-1.5 ***	-3.3 ***	-1.5 ***	-1.8 ***	-0.3 ***	-2.8 ***	0.1 ***	-2.4 ***
Azuay 2014-2016	0.7 ***	0.1 ***	-2.6 ***	1.2 ***	2.0 ***	1.2 **	0.5 ***	1.0 ***	-1.2 ***	0.2 ***	-0.5 ***	-0.9 ***
Bolívar 2009-2013	-1.2 ***	0.9 ***	-1.0 ***	-0.7 ***	-1.1 ***	-3.0 ***	-4.6 ***	0.2 ***	-1.2 ***	-1.5 ***	-1.3 ***	-3.3 ***
Bolívar 2014-2016	-0.1 ***	1.1 **	-2.7 **	1.8 ***	-0.2 ***	-1.1 ***	-4.3 ***	-15.0 ***	-3.3 ***	-5.8 ***	-2.9 **	-5.5 ***
Cañar 2009-2013	-2.2 ***	0.0 ***	-0.9 ***	-0.6 ***	-0.4 ***	-1.8 ***	-1.8 ***	-4.0 ***	-0.8 ***	-2.2 ***	-0.5 ***	-4.2 ***
Cañar 2014-2016	-0.4 ***	-0.6 **	-1.8 ***	0.0 ***	0.7 **	-2.0 ***	-0.2 ***	-7.3 ***	0.1 ***	-2.5 ***	-3.2 ***	-3.0 ***
Carchi 2009-2013	-1.1 ***	-0.4 ***	-0.3 ***	-1.1 ***	-2.7 ***	-2.3 ***	-3.8 ***	0.5 ***	-2.4 ***	-3.8 ***	-0.1 ***	-2.8 ***
Carchi 2014-2016	-0.7 *	0.8 ***	-2.5 ***	0.3 ***	1.0 ***	-0.5 **	1.0 ***	-9.3 ***	-1.1 ***	0.2 ***	-1.2 ***	-1.1 ***
Chimborazo 2009-2013	-2.5 ***	-0.4 ***	1.2 *	-2.1 ***	0.5 *	-0.9 ***	-4.0 ***	3.9 ***	-2.5 ***	-0.7 ***	-0.8 ***	-3.1 ***
Chimborazo 2014-2016	-2.0 ***	1.7 ***	3.0 ***	4.4 ***	3.6 ***	1.1 ***	2.4 ***	-10.3 ***	-0.8 ***	5.7 ***	-1.6 ***	3.1 ***
Cotopaxi 2009-2013	-2.8 ***	0.6 **	-0.5 ***	-3.4 ***	-2.1 ***	-3.4 ***	-3.7 ***	2.2 ***	-2.2 ***	-3.1 ***	-2.5 ***	-4.1 ***
Cotopaxi 2014-2016	-0.1 ***	1.7 ***	0.2 **	2.4 ***	1.3 ***	3.7 ***	3.1 ***	-12.2 ***	0.7 ***	0.2 ***	0.8 ***	-2.3 ***
El Oro 2009-2013	-1.3 ***	-0.1 ***	-1.8 ***	-1.2 ***	-3.5 ***	-3.9 ***	-1.4 ***	-1.0 ***	-1.6 ***	-2.6 ***	-0.7 ***	-2.5 ***
El Oro 2014-2016	-1.2 ***	-2.1 ***	-2.5 ***	-0.1 *	1.7 ***	-0.5 ***	0.3 *	1.9 ***	-0.6 ***	0.6 ***	1.3 ***	0.1 ***
Esmeraldas 2009-2013	-2.0 ***	-1.2 ***	-0.3 ***	-1.7 ***	-1.5 ***	-2.2 ***	-1.9 ***	0.8 ***	-1.9 ***	-0.6 **	-0.5 ***	-0.6 ***
Esmeraldas 2014-2016	0.8 ***	2.2 ***	-0.9 ***	1.0 *	0.6 ***	0.0 ***	0.5 ***	1.2 ***	-1.3 ***	0.4 ***	2.8 ***	1.7 ***
Galápagos 2014-2016	0.0 *	-3.2 ***	-2.8 ***	1.2 ***	1.5 **	-2.6 ***	0.2 **	0.7 ***	-5.2 ***	1.3 ***	5.3 ***	-0.2 ***
Guayas 2009-2013	-1.5 ***	0.2 ***	-0.9 ***	-1.2 ***	-2.0 ***	-2.8 ***	-0.4 ***	-2.9 ***	-1.1 ***	-1.0 ***	-2.6 ***	-1.8 ***
Guayas 2014-2016	-1.4 ***	1.4 ***	-2.4 ***	-0.2 ***	4.4 ***	-0.1 ***	0.2 ***	-2.4 ***	-1.2 ***	-3.0 ***	-2.7 **	-1.6 ***
Imbabura 2009-2013	-1.5 ***	-0.5 ***	-1.3 ***	-1.8 ***	-3.0 ***	-1.8 ***	-3.9 ***	-1.1 ***	-3.1 ***	-4.8 ***	-3.8 ***	-2.8 ***
Imbabura 2014-2016	-1.4 ***	0.0 ***	-1.6 ***	-1.6 ***	2.2 ***	-0.5 ***	1.0 ***	-6.8 ***	-1.5 ***	-6.1 ***	1.6 ***	0.8 ***
Loja 2009-2013	-2.1 ***	0.6 ***	-1.5 ***	-1.4 ***	-0.5 *	-4.0 ***	-1.2 ***	-3.8 ***	-1.3 *	-2.8 ***	-2.6 ***	-3.6 ***
Loja 2014-2016	-3.3 ***	2.4 *	-3.1 ***	0.7 ***	3.4 ***	-0.8 ***	0.2 ***	-7.2 ***	-1.7 ***	-5.5 ***	0.4 ***	-2.8 **
Los Ríos 2009-2013	-1.5 ***	-1.6 ***	-1.0 ***	-0.9 ***	0.4 **	-2.4 ***	-1.2 ***	-3.8 ***	-0.7 ***	-1.6 ***	0.9 ***	-2.5 ***
Los Ríos 2014-2016	-2.0 ***	0.7 **	-1.0 ***	1.6 ***	1.5 ***	-0.6 ***	-1.2 *	-2.5 ***	-2.6 ***	-3.4 ***	-5.3 ***	-1.9 ***

Note: *** statistically significant at $\alpha=0.01$, ** statistically significant at $\alpha=0.05$, * statistically significant at $\alpha=0.10$

Continue... Table A.6: Annualized Absolute Change in Raw Headcount Ratios (percentage points)

Country / Provinces	Ind1_1 Inasistencia a educación básica y bachillerato	Ind1_2 No acceso a educación superior por razones económicas	Ind1_3 Logro educativo incompleto	Ind2_1 Empleo infantil y adolescente	Ind2_2 Desempleo o empleo inadecuado	Ind2_3 No contribución al sistema de pensiones	Ind3_1 Pobreza extrema por ingresos	Ind3_2 Sin servicio de agua por red pública	Ind4_1 Hacinamiento	Ind4_2 Déficit habitacional	Ind4_3 Sin saneamiento de excretas	Ind4_4 Sin servicio de recolección de basura
Manabí 2009-2013	-1.2 ***	-0.3 ***	-0.9	-1.1 ***	-1.7 ***	-4.0 ***	-1.0 ***	-1.1 ***	-0.9 ***	-1.4 ***	-2.2 ***	-4.4 ***
Manabí 2014-2016	-0.9 ***	-0.4	-1.2 ***	0.9 ***	2.6 ***	2.7 ***	-1.4 ***	-2.7 ***	1.1	-2.0 ***	0.1	1.3 ***
Morona Santiago 2009-2013	-4.1 ***	1.5 **	-2.6 ***	-3.3 **	-1.9 ***	-1.2 ***	-1.7	-8.1 ***	0.5 **	-4.0 ***	-0.1 ***	-2.3
Morona Santiago 2014-2016	-0.6	-0.1 ***	-0.2 ***	2.0 ***	3.2 ***	2.1	-0.4 ***	-7.2 ***	-2.2 ***	-0.1 **	-1.5 ***	-2.1 ***
Napo 2009-2013	-2.9 ***	-3.9 ***	-1.1 **	-2.6 ***	-7.4 ***	-2.4 ***	-6.6 ***	-0.7 ***	-2.1 ***	-5.7 ***	-1.3 ***	0.0
Napo 2014-2016	0.1	1.7 ***	-0.2	10.6 ***	7.9 ***	5.3 ***	7.0 ***	-7.2 ***	1.0	-4.9 ***	-1.0 ***	-4.8 ***
Orellana 2009-2013	-3.5 ***	-0.1	-3.8 ***	-0.6 ***	-3.8 ***	-2.2 ***	-8.0 ***	-3.7	-2.3 ***	1.2 ***	-2.3	-6.1 ***
Orellana 2014-2016	0.0 *	3.1 ***	-6.0 **	7.5 ***	5.5 ***	2.3 ***	3.3 ***	-7.3 ***	-3.6 *	-3.9 ***	-2.6 ***	-1.4 *
Pastaza 2009-2013	0.5 **	1.0	-0.3	-1.9 ***	-3.5 ***	-0.7 ***	-6.3 ***	3.6 ***	2.0 ***	-0.7	3.9 ***	1.9 *
Pastaza 2014-2016	1.6	1.3 ***	4.0	10.7 ***	5.8 ***	4.2	6.9 ***	5.4 ***	2.7 ***	2.8 ***	6.1 ***	8.2 ***
Pichincha 2009-2013	-0.5 ***	-1.4 ***	-0.4 ***	-1.0 ***	-4.1 ***	-3.9 ***	-0.4 ***	0.1 ***	-0.9 ***	-2.4 ***	-0.8 ***	-0.2 ***
Pichincha 2014-2016	-0.7 ***	2.2 ***	-1.3 ***	1.0 ***	7.7 ***	3.2 ***	1.7 ***	-2.6 ***	-1.3 ***	-0.4 ***	1.0 ***	-1.0 ***
Santa Elena 2009-2013	-4.2 ***	-0.7 ***	-1.3 ***	-1.6 ***	-0.8 ***	-0.2 *	-4.7 ***	-4.9 ***	-3.3 ***	-4.1 ***	-2.6 ***	-4.8 ***
Santa Elena 2014-2016	0.3	-1.1 ***	-0.1 **	-0.8	0.6 ***	-1.8	-1.4 ***	-2.0 ***	-0.2	-4.5 ***	-6.1 ***	0.7
Santo Domingo 2009-2013	-2.0 ***	-1.2 ***	-2.3 ***	-1.9 ***	-3.3 ***	-3.6 ***	-2.4 ***	-3.1	-0.2	-2.9 ***	1.4	-4.3 ***
Santo Domingo 2014-2016	-1.2	1.1 ***	-3.1 ***	0.1 **	5.6 ***	3.2 ***	-0.2 *	-1.2 **	-1.8	-5.9 ***	0.4 ***	-2.6 ***
Sucumbíos 2009-2013	-1.9 ***	-1.9 ***	-3.1 ***	-1.0	-2.0 ***	-4.8 ***	-1.1	6.6 ***	-2.1 ***	1.3 ***	0.7 **	3.8 ***
Sucumbíos 2014-2016	0.2 **	1.9 ***	-5.3 ***	1.6 **	3.7 ***	3.2 ***	3.1 *	2.4 ***	3.5	-5.4 ***	0.8	-5.8 ***
Tungurahua 2009-2013	-1.7 ***	-0.2	-1.8 ***	-3.2 ***	-1.3 ***	-3.0 ***	-1.5 ***	-0.8 ***	-1.5 ***	-2.0 ***	-2.5 ***	-4.3 ***
Tungurahua 2014-2016	-0.8 **	1.3 ***	-3.2 *	0.2 ***	2.2 ***	-0.9	0.5 ***	-10.3 ***	-0.5 *	-2.1 ***	-1.1 ***	-3.9 ***
Zamora Chinchipe 2009-2013	-1.3 **	0.5	0.0	-4.9 ***	-1.2	-3.7 ***	-6.1 ***	-5.5 ***	-0.6	-2.5 ***	-5.1 ***	-3.8
Zamora Chinchipe 2014-2016	-3.0 ***	-1.5	-1.2	-3.4 ***	1.8 ***	3.2 ***	2.2 ***	4.0	0.0	0.7 ***	0.1 ***	3.8
Zonas no delimitadas 2009-2013	4.8 ***	-0.8 **	-2.7	0.3	-2.2	-4.5 ***	-1.0 **	4.9 ***	0.4	3.7 ***	-10.6 ***	-1.6 ***
Zonas no delimitadas 2014-2016	0.1	3.4 **	4.2	-1.2 *	6.4 **	4.2	-0.8 ***	-5.6 ***	-0.9	-3.6 ***	-6.5 ***	-0.1

Note: *** statistically significant at $\alpha=0.01$, ** statistically significant at $\alpha=0.05$, * statistically significant at $\alpha=0.10$

Table A.7: Annualized Absolute Change in Censored Headcount Ratios (percentage points)

Country / Provinces	Ind1_1 Inasistencia a educación básica y bachillerato	Ind1_2 No acceso a educación superior por razones económicas	Ind1_3 Logro educativo incompleto	Ind2_1 Empleo infantil y adolescente	Ind2_2 Desempleo o empleo inadecuado	Ind2_3 No contribución al sistema de pensiones	Ind3_1 Pobreza extrema por ingresos	Ind3_2 Sin servicio de agua por red pública	Ind4_1 Hacinamiento	Ind4_2 Déficit habitacional	Ind4_3 Sin saneamiento de excretas	Ind4_4 Sin servicio de recolección de basura
National Level												
Ecuador 2009-2013	-1.8 ***	-0.4 ***	-2.8 ***	-1.4 ***	-2.8 ***	-3.3 ***	-1.6 ***	-2.1 ***	-1.5 ***	-2.9 ***	-2.2 ***	-2.5 ***
Ecuador 2014-2016	-0.6 ***	0.8 ***	-1.1 ***	0.6 ***	-0.1 ***	-0.3 ***	0.4 ***	-2.7 ***	-0.8 ***	-1.7 ***	-0.8 ***	-1.0 ***
Subnational Level												
Azuay 2009-2013	-1.0 **	0.1 **	-2.0 **	-1.0 *	-2.1 ***	-2.4 ***	-1.5 ***	-1.9 ***	-0.6 ***	-3.1 ***	-0.2 ***	-2.6 ***
Azuay 2014-2016	0.2 ***	0.1 ***	0.7 ***	1.0 ***	0.6 ***	0.9 ***	0.4 **	0.5 *	-0.5 ***	-1.6 ***	-0.6 ***	-0.3 ***
Bolívar 2009-2013	-1.2 ***	0.7 ***	-2.2 ***	-0.8 *	-2.0 ***	-3.7 ***	-4.6 ***	-0.3 ***	-1.5 ***	-2.7 **	-1.6 ***	-3.6 ***
Bolívar 2014-2016	-1.1 ***	0.9 ***	-7.7 **	1.6 ***	-7.5 ***	-7.6 ***	-4.2 ***	-13.9 ***	-2.9 **	-9.9 ***	-3.7 ***	-8.3 ***
Cañar 2009-2013	-2.1 ***	0.0 ***	-3.4 **	-0.7 ***	-3.3 ***	-3.1 **	-1.9 **	-4.0 ***	-1.0 ***	-3.1 ***	-0.8 ***	-4.2 ***
Cañar 2014-2016	-1.0 **	-0.4 ***	-2.4 ***	-0.3 ***	-1.6 ***	-2.5 ***	-0.1 ***	-5.0 ***	-0.4 *	-3.3 *	-3.6 ***	-2.7 ***
Carchi 2009-2013	-1.1 **	-0.3 ***	-2.5 ***	-1.0 ***	-3.4 **	-2.6 *	-3.4 ***	-0.3 ***	-2.7 ***	-3.8 ***	-0.3 ***	-2.7 ***
Carchi 2014-2016	-0.4 ***	0.2 ***	-3.5 ***	0.0 ***	-3.1 ***	-1.5 ***	0.7 ***	-8.5 ***	-1.1 **	-3.1 ***	-1.4 ***	-1.3 **
Chimborazo 2009-2013	-2.2 ***	-0.2 *	0.5 **	-2.1 ***	0.1 ***	-0.1 ***	-4.0 ***	2.9 ***	-2.3 ***	-0.1 ***	-1.0 ***	-3.1 ***
Chimborazo 2014-2016	-1.0 ***	1.1 ***	2.0 ***	4.9 ***	1.8 ***	1.8 ***	2.2 ***	-9.4 ***	0.0 *	3.2 ***	-1.5 ***	1.0 ***
Cotopaxi 2009-2013	-2.9 ***	0.4 ***	-2.8 ***	-3.4 ***	-3.2 ***	-3.7 ***	-3.6 ***	1.3 ***	-2.7 ***	-4.0 ***	-3.4 ***	-4.2 ***
Cotopaxi 2014-2016	0.4 ***	1.5 ***	0.6 ***	1.9 ***	1.6 ***	1.8 ***	2.8 ***	-7.3 ***	1.7 ***	1.2 ***	0.5 ***	-2.4 ***
El Oro 2009-2013	-1.1 ***	-0.6 ***	-3.6 ***	-1.1 ***	-3.6 ***	-4.1 ***	-1.4 ***	-1.2 ***	-1.6 ***	-3.7 ***	-1.8 **	-2.2 ***
El Oro 2014-2016	-1.2 ***	-1.0 ***	-0.5 **	0.0 ***	0.1 *	-0.2 ***	0.2 ***	1.9 ***	-0.8 ***	0.5 ***	0.6 ***	-0.4 ***
Esmeraldas 2009-2013	-1.6 ***	-0.7 ***	-1.4 ***	-1.5 ***	-1.8 ***	-1.9 ***	-1.9 ***	0.4 ***	-1.6 ***	-1.2 ***	-0.9 ***	-0.9 ***
Esmeraldas 2014-2016	0.8 ***	1.3 ***	-0.3 ***	1.0 ***	1.1 ***	1.6 ***	0.1 ***	1.2 ***	-1.4 ***	0.3 ***	2.3 ***	1.7 **
Galápagos 2014-2016	-0.4 ***	0.6 ***	0.9 *	0.9 ***	0.9 ***	0.1 ***	0.2 **	0.9 ***	-1.9 ***	0.3 ***	1.5 **	-0.2 ***
Guayas 2009-2013	-1.7 ***	-0.2 ***	-2.0 ***	-1.1 ***	-2.1 ***	-2.7 ***	-0.4 **	-2.9 ***	-1.0 ***	-2.0 ***	-3.1 ***	-1.3 ***
Guayas 2014-2016	-0.8 **	1.0 ***	-2.2 ***	-0.2 ***	-1.4 ***	-2.0 ***	-0.1 ***	-2.3 *	-1.5 ***	-2.5 ***	-2.4 ***	-1.7 ***
Imbabura 2009-2013	-1.8 ***	-0.6 **	-4.7 **	-2.0 ***	-4.6 ***	-3.8 ***	-4.0 ***	-1.8 ***	-3.1 ***	-4.9 ***	-3.7 ***	-3.2 ***
Imbabura 2014-2016	-1.3 ***	-0.3 ***	-2.8 **	-1.5 ***	-2.2 **	-2.3 **	0.5 ***	-5.8 ***	-1.8 ***	-3.8 ***	0.7 ***	0.1 ***
Loja 2009-2013	-2.1 ***	0.1 ***	-2.5 ***	-1.8 ***	-2.9 ***	-4.3 ***	-1.1 ***	-3.7 ***	-1.3 ***	-3.4 ***	-2.5 ***	-3.8 ***
Loja 2014-2016	-2.1 ***	1.0 ***	-3.1 ***	-0.4 ***	-2.0 ***	-2.2 ***	-0.2 ***	-6.6 ***	-1.8 ***	-5.0 ***	-0.1 ***	-2.7 ***
Los Ríos 2009-2013	-1.4 ***	-1.5 ***	-1.8 ***	-0.9 ***	-1.2 ***	-3.1 ***	-1.2 ***	-3.7 ***	-1.2 ***	-2.1 ***	-1.2 **	-2.3 ***
Los Ríos 2014-2016	-2.2 **	0.3 ***	-3.5 ***	1.5 ***	-2.0 ***	-3.5 **	-1.1 ***	-3.0 ***	-2.7 ***	-5.4 ***	-4.5 ***	-3.0 ***

Note: *** statistically significant at $\alpha=0.01$, ** statistically significant at $\alpha=0.05$, * statistically significant at $\alpha=0.10$

Continue... Table A.7: Annualized Absolute Change in Censored Headcount Ratios (percentage points)

Country / Provinces	Ind1_1 Inasistencia a educación básica y bachillerato	Ind1_2 No acceso a educación superior por razones económicas	Ind1_3 Logro educativo incompleto	Ind2_1 Empleo infantil y adolescente	Ind2_2 Desempleo o empleo inadecuado	Ind2_3 No contribución al sistema de pensiones	Ind3_1 Pobreza extrema por ingresos	Ind3_2 Sin servicio de agua por red pública	Ind4_1 Hacinamiento	Ind4_2 Déficit habitacional	Ind4_3 Sin saneamiento de excretas	Ind4_4 Sin servicio de recolección de basura
Manabí 2009-2013	-1.4 ***	-0.4 ***	-1.9 ***	-1.2 ***	-2.3 ***	-3.7 ***	-1.0 **	-1.6 ***	-1.1 **	-2.8 ***	-2.1 ***	-3.8 ***
Manabí 2014-2016	-1.0 ***	0.2 ***	-0.3 *	0.5 ***	1.1 ***	2.3 ***	-1.4 ***	-1.3 ***	1.2 ***	-0.6 **	1.1 ***	1.1 ***
Morona Santiago 2009-2013	-4.1 ***	1.6 ***	-3.5 *	-3.6 ***	-3.9 ***	-2.3 ***	-1.7 ***	-8.0 ***	0.1 ***	-4.2 ***	-1.3 ***	-3.0 ***
Morona Santiago 2014-2016	-0.4 ***	-0.4 **	-0.1 ***	1.8 ***	1.0 ***	-0.7 ***	-0.7 ***	-5.5 ***	-2.6 ***	-1.2 **	-2.0 ***	-2.3 ***
Napo 2009-2013	-3.8 *	-3.0 ***	-4.7 ***	-2.6 ***	-7.5 ***	-4.1 ***	-6.7 ***	-3.6 ***	-3.8 **	-5.7 ***	-1.7 ***	-0.4 ***
Napo 2014-2016	0.7 *	1.1 ***	0.8 **	10.1 ***	3.9 ***	4.5 ***	6.7 ***	-4.5 ***	1.4 ***	-1.9 ***	-0.5 ***	-4.1 ***
Orellana 2009-2013	-4.5 ***	-0.3 ***	-7.9 ***	-0.4 *	-5.2 ***	-4.8 ***	-7.2 ***	-5.2 ***	-2.0 ***	-3.4 ***	-3.5 ***	-6.2 ***
Orellana 2014-2016	0.0 ***	3.1 ***	-3.9 ***	7.5 ***	0.6 ***	-0.5 ***	3.0 ***	-5.9 ***	-3.5 **	-4.7 ***	-3.3 ***	-1.5 ***
Pastaza 2009-2013	0.8 ***	1.2 **	-1.8 *	-1.7 *	-3.0 ***	-1.4 ***	-5.7 ***	3.1 ***	1.0 ***	-0.7 ***	3.6 ***	2.3 ***
Pastaza 2014-2016	2.4 ***	1.1 ***	6.8 ***	11.3 ***	8.5 ***	8.0 ***	6.9 ***	7.4 ***	2.6 ***	6.7 ***	6.7 ***	9.0 ***
Pichincha 2009-2013	-0.8 ***	-0.3 ***	-1.7 ***	-0.8 ***	-1.5 ***	-1.6 ***	-0.3 ***	-0.4 **	-0.6 ***	-1.3 ***	-0.6 ***	-0.6 ***
Pichincha 2014-2016	-0.2 ***	1.3 ***	1.2 **	0.7 ***	2.4 ***	2.1 ***	1.6 ***	-1.6 ***	-0.2 ***	-0.1 ***	1.1 ***	0.0 ***
Santa Elena 2009-2013	-4.4 ***	-0.6 ***	-5.6 ***	-1.6 ***	-4.9 ***	-4.3 ***	-4.6 ***	-4.6 ***	-3.9 **	-6.6 ***	-4.7 ***	-4.5 ***
Santa Elena 2014-2016	0.5 ***	-0.9 *	-4.6 ***	-0.9 ***	-4.4 **	-4.4 ***	-1.3 **	-2.0 ***	-2.1 *	-5.0 **	-5.6 ***	0.4 ***
Santo Domingo 2009-2013	-2.3 ***	-1.1 ***	-4.3 ***	-1.9 ***	-4.8 ***	-5.0 ***	-2.3 ***	-3.8 ***	-0.7 ***	-3.6 ***	0.0 *	-4.4 ***
Santo Domingo 2014-2016	-0.5 ***	0.8 ***	-2.1 ***	-0.5 **	0.9 ***	0.8 ***	-0.4 ***	-1.6 ***	-2.0 ***	-3.8 ***	0.3 *	-2.2 ***
Sucumbíos 2009-2013	-1.7 **	-1.0 ***	-2.0 ***	-1.1 **	-0.7 **	-3.5 ***	-0.8 ***	4.9 ***	-1.5 ***	-0.1 **	0.2 ***	3.3 ***
Sucumbíos 2014-2016	0.9 *	1.8 ***	-2.3 ***	1.7 ***	2.9 ***	4.0 ***	3.1 **	0.4 ***	5.0 ***	-2.3 ***	1.1 ***	-5.2 ***
Tungurahua 2009-2013	-1.9 ***	-0.2 ***	-3.4 ***	-3.1 ***	-3.3 ***	-3.3 ***	-1.3 ***	-1.3 ***	-1.5 **	-2.4 ***	-2.4 ***	-4.0 ***
Tungurahua 2014-2016	-0.9 ***	1.1 ***	-4.8 ***	-0.3 ***	-4.0 ***	-4.2 ***	0.3 ***	-9.7 ***	-0.5 ***	-3.0 ***	-1.3 ***	-3.7 ***
Zamora Chinchipe 2009-2013	-1.7 ***	0.4 ***	-5.0 ***	-4.0 ***	-6.1 ***	-7.1 ***	-6.1 ***	-5.1 ***	-1.2 **	-6.8 *	-4.6 ***	-4.2 **
Zamora Chinchipe 2014-2016	-1.5 ***	-0.8 ***	-0.4 ***	-3.0 ***	0.8 ***	1.8 ***	2.0 ***	3.8 ***	1.0 ***	1.5 ***	-0.3 ***	2.9 ***
Zonas no delimitadas 2009-2013	4.8 ***	-0.8 **	-0.9 *	0.3 ***	-3.2 **	-4.6 ***	-1.0 ***	1.0 ***	1.3 ***	1.7 ***	-8.9 ***	-1.6 **
Zonas no delimitadas 2014-2016	0.1 ***	3.9 ***	5.3 ***	-1.2 ***	3.1 ***	1.9 **	-0.8 ***	-4.3 **	0.3 ***	-7.4 ***	-12.3 ***	3.4 ***

Note: *** statistically significant at $\alpha=0.01$, ** statistically significant at $\alpha=0.05$, * statistically significant at $\alpha=0.10$

Table A.8: Indicators Contribution to Annualized Absolute Change in MPIT

Country / Provinces	Ind1_1 Inasistencia a educación básica y bachillerato	Ind1_2 No acceso a educación superior por razones económicas	Ind1_3 Logro educativo incompleto	Ind2_1 Empleo infantil y adolescente	Ind2_2 Desempleo o empleo inadecuado	Ind2_3 No contribución al sistema de pensiones	Ind3_1 Pobreza extrema por ingresos	Ind3_2 Sin servicio de agua por red pública	Ind4_1 Hacinamiento	Ind4_2 Déficit habitacional	Ind4_3 Sin saneamiento de excretas	Ind4_4 Sin servicio de recolección de basura
National Level												
Ecuador 2009-2013	7%	1%	11%	6%	12%	13%	10%	13%	4%	9%	7%	7%
Ecuador 2014-2016	9%	-10%	16%	-9%	1%	3%	-7%	54%	8%	18%	8%	10%
Subnational Level												
Azuay 2009-2013	6%	0%	11%	5%	11%	13%	12%	16%	2%	13%	1%	10%
Azuay 2014-2016	8%	3%	29%	38%	23%	35%	23%	26%	-15%	-46%	-17%	-8%
Bolívar 2009-2013	5%	-3%	9%	4%	8%	16%	29%	2%	5%	9%	5%	11%
Bolívar 2014-2016	2%	-1%	11%	-2%	11%	11%	9%	31%	3%	11%	4%	9%
Cañar 2009-2013	7%	0%	12%	3%	12%	11%	10%	21%	3%	8%	2%	11%
Cañar 2014-2016	4%	2%	10%	1%	7%	11%	1%	32%	1%	11%	12%	8%
Carchi 2009-2013	5%	1%	11%	4%	15%	11%	22%	2%	9%	12%	1%	9%
Carchi 2014-2016	2%	-1%	14%	0%	12%	6%	-4%	51%	3%	9%	4%	4%
Chimborazo 2009-2013	21%	2%	-5%	20%	-1%	1%	56%	-42%	17%	1%	7%	22%
Chimborazo 2014-2016	-58%	64%	114%	283%	104%	106%	191%	-818%	-2%	138%	-66%	44%
Cotopaxi 2009-2013	10%	-1%	9%	11%	11%	12%	18%	-7%	7%	10%	9%	11%
Cotopaxi 2014-2016	22%	89%	38%	113%	98%	107%	257%	-665%	78%	52%	21%	-111%
El Oro 2009-2013	4%	2%	14%	4%	14%	16%	8%	7%	5%	11%	5%	7%
El Oro 2014-2016	-427%	-350%	-176%	7%	46%	-72%	102%	1028%	-231%	127%	163%	-118%
Esmeraldas 2009-2013	11%	4%	9%	10%	12%	13%	19%	-4%	8%	6%	5%	5%
Esmeraldas 2014-2016	8%	14%	-4%	10%	12%	17%	1%	19%	-11%	2%	18%	14%
Galápagos 2014-2016	-10%	15%	20%	21%	21%	2%	7%	30%	-32%	5%	25%	-4%
Guayas 2009-2013	8%	1%	10%	5%	11%	13%	3%	22%	4%	7%	12%	5%
Guayas 2014-2016	5%	-7%	14%	2%	9%	13%	1%	22%	7%	12%	12%	8%
Imbabura 2009-2013	5%	2%	13%	5%	12%	10%	16%	7%	6%	10%	7%	6%
Imbabura 2014-2016	6%	2%	13%	7%	10%	11%	-4%	39%	6%	13%	-2%	0%
Loja 2009-2013	7%	0%	9%	6%	10%	15%	6%	19%	3%	9%	7%	10%
Loja 2014-2016	8%	-4%	12%	1%	8%	8%	1%	38%	5%	14%	0%	8%
Los Ríos 2009-2013	6%	7%	8%	4%	5%	14%	8%	25%	4%	7%	4%	8%
Los Ríos 2014-2016	8%	-1%	13%	-5%	8%	13%	6%	16%	7%	15%	12%	8%

Continue...

Table A.8: Indicators Contribution to Annualized Absolute Change in MPI

Country / Provinces	Ind1_1 Non-attendance to basic education and baccalaureate	Ind1_2 No access to higher education for economic reasons	Ind1_3 Incomplete educational achievement	Ind2_1 Child and adolescent employment	Ind2_2 Unemployment or inappropriate employment	Ind2_3 Non-contribution to the pension system	Ind3_1 Extreme Poverty by Income	Ind3_2 No public water service	Ind4_1 Overcrowding	Ind4_2 Housing deficit	Ind4_3 Without excreta sanitation	Ind4_4 No trash collection service
Manabí 2009-2013	6%	2%	9%	5%	10%	17%	7%	11%	4%	10%	7%	13%
Manabí 2014-2016	-89%	19%	-31%	51%	106%	215%	-190%	-180%	81%	-39%	79%	79%
Morona Santiago 2009-2013	11%	-4%	9%	10%	11%	6%	7%	33%	0%	9%	3%	6%
Morona Santiago 2014-2016	3%	3%	1%	-13%	-7%	5%	7%	58%	14%	6%	11%	12%
Napo 2009-2013	8%	6%	9%	5%	15%	8%	20%	11%	6%	9%	2%	1%
Napo 2014-2016	4%	5%	4%	49%	19%	22%	48%	-32%	5%	-7%	-2%	-15%
Orellana 2009-2013	9%	1%	15%	1%	10%	9%	20%	15%	3%	5%	5%	9%
Orellana 2014-2016	0%	-41%	53%	-101%	-7%	7%	-61%	120%	35%	47%	34%	15%
Pastaza 2009-2013	-15%	-23%	36%	33%	59%	28%	165%	-92%	-15%	10%	-53%	-34%
Pastaza 2014-2016	3%	1%	9%	14%	11%	10%	13%	14%	2%	6%	6%	9%
Pichincha 2009-2013	8%	3%	16%	8%	15%	15%	5%	6%	5%	10%	5%	5%
Pichincha 2014-2016	-3%	17%	15%	8%	30%	26%	29%	-30%	-2%	0%	10%	0%
Santa Elena 2009-2013	9%	1%	11%	3%	10%	9%	14%	14%	6%	10%	7%	7%
Santa Elena 2014-2016	-2%	3%	16%	3%	15%	15%	7%	10%	5%	13%	15%	-1%
Santo Domingo 2009-2013	6%	3%	12%	5%	14%	14%	10%	16%	1%	8%	0%	9%
Santo Domingo 2014-2016	5%	-8%	22%	5%	-10%	-9%	7%	25%	16%	31%	-2%	18%
Sucumbios 2009-2013	70%	42%	79%	46%	27%	141%	50%	-297%	46%	2%	-6%	-100%
Sucumbios 2014-2016	7%	14%	-18%	13%	22%	30%	35%	4%	28%	-13%	6%	-29%
Tungurahua 2009-2013	7%	1%	13%	12%	12%	12%	7%	7%	4%	7%	7%	11%
Tungurahua 2014-2016	3%	-3%	14%	1%	12%	13%	-1%	43%	1%	7%	3%	8%
Zamora Chinchipe 2009-2013	3%	-1%	10%	8%	11%	13%	17%	14%	2%	10%	7%	6%
Zamora Chinchipe 2014-2016	-15%	-8%	-4%	-32%	8%	19%	32%	60%	8%	12%	-2%	23%
Zonas no delimitadas 2009-2013	-48%	8%	9%	-3%	32%	46%	16%	-15%	-10%	-13%	67%	12%
Zonas no delimitadas 2014-2016	-1%	-58%	-79%	19%	-46%	-29%	19%	95%	-3%	83%	138%	-38%

ANEXO B: Tablas – Pobreza Multidimensional y Datos de Panel

Table B.1: Levels, Changes and Statistical Significance of Changes in MPI_T

Country / Provinces	Multidimensional Poverty Index (MPIT)				Annualized Change		t-statistic for difference	
	Year 1	Std. Err.	Year 2	Std. Err.	Absolute	%Relative		
National Level								
Ecuador 2015-2016	0.170	0.000	0.169	0.000	-0.001	-0.9%	4.49	***
Subnational Level								
Azuay 2015-2016	0.130	0.000	0.127	0.000	-0.003	-2.1%	-2.54	***
Bolívar 2015-2016	0.318	0.001	0.231	0.001	-0.087	-27.4%	6.09	***
Cañar 2015-2016	0.156	0.000	0.181	0.000	0.025	16.1%	-4.88	***
Carchi 2015-2016	0.145	0.001	0.133	0.000	-0.012	-8.1%	1.50	
Chimborazo 2015-2016	0.346	0.000	0.267	0.000	-0.079	-22.8%	7.83	***
Cotopaxi 2015-2016	0.285	0.000	0.256	0.000	-0.028	-10.0%	6.05	***
El Oro 2015-2016	0.114	0.000	0.119	0.000	0.004	3.8%	-3.03	***
Esmeraldas 2015-2016	0.286	0.000	0.307	0.000	0.021	7.2%	1.41	
Galápagos 2015-2016	0.044	0.001	0.044	0.001	0.000	-0.6%	1.19	
Guayas 2015-2016	0.140	0.000	0.143	0.000	0.003	2.2%	-1.57	
Imbabura 2015-2016	0.146	0.000	0.114	0.000	-0.031	-21.5%	9.95	***
Loja 2015-2016	0.155	0.000	0.160	0.000	0.005	3.4%	0.59	
Los Ríos 2015-2016	0.274	0.000	0.252	0.000	-0.023	-8.4%	4.35	***
Manabí 2015-2016	0.243	0.000	0.247	0.000	0.004	1.7%	-0.37	
Morona Santiago 2015-2016	0.368	0.001	0.388	0.001	0.020	5.4%	-1.43	
Napo 2015-2016	0.321	0.001	0.342	0.001	0.021	6.7%	-2.82	***
Orellana 2015-2016	0.354	0.001	0.313	0.001	-0.041	-11.6%	-1.65	*
Pastaza 2015-2016	0.370	0.001	0.441	0.001	0.071	19.1%	0.73	
Pichincha 2015-2016	0.045	0.000	0.064	0.000	0.019	42.2%	-2.83	***
Santa Elena 2015-2016	0.181	0.000	0.181	0.000	0.000	-0.2%	0.12	
Santo Domingo 2015-2016	0.189	0.000	0.177	0.000	-0.012	-6.2%	0.97	
Sucumbíos 2015-2016	0.314	0.001	0.297	0.001	-0.017	-5.5%	0.08	
Tungurahua 2015-2016	0.149	0.000	0.133	0.000	-0.016	-10.9%	3.10	***
Zamora Chinchipe 2015-2016	0.256	0.001	0.275	0.001	0.019	7.3%	-2.71	***
Zonas no delimitadas 2015-2016	0.421	0.001	0.397	0.001	-2.39%	-5.7%	-0.26	

Note: *** statistically significant at $\alpha=0.01$, ** statistically significant at $\alpha=0.05$, * statistically significant at $\alpha=0.10$

Table B.2: Levels, Changes and Statistical Significance of Changes in Incidence (H_T)

Country / Provinces	Multidimensional Hadcount Ratio (HT %)				Annualized Change		t-statistic for difference	
	Year 1	Std. Err.	Year 2	Std. Err.	Absolute	%Relative		
National Level								
Ecuador 2015-2016	35.0	0.0	35.1	0.0	0.1	0.4%	3.80	***
Subnational Level								
Azuay 2015-2016	28.2	0.0	28.7	0.0	0.5	1.8%	-2.86	***
Bolívar 2015-2016	61.0	0.1	45.4	0.1	-15.6	-25.6%	6.15	***
Cañar 2015-2016	32.9	0.1	38.6	0.1	5.8	17.5%	-5.62	***
Carchi 2015-2016	33.2	0.1	29.9	0.1	-3.3	-10.0%	1.52	
Chimborazo 2015-2016	63.9	0.1	52.4	0.1	-11.5	-18.0%	7.62	***
Cotopaxi 2015-2016	53.8	0.1	49.6	0.1	-4.2	-7.8%	5.68	***
El Oro 2015-2016	25.9	0.1	27.4	0.1	1.5	5.7%	-3.16	***
Esmeraldas 2015-2016	54.5	0.1	57.4	0.1	2.9	5.3%	1.73	*
Galápagos 2015-2016	11.0	0.2	10.5	0.2	-0.5	-4.6%	1.48	
Guayas 2015-2016	31.0	0.0	31.1	0.0	0.2	0.6%	-0.62	
Imbabura 2015-2016	31.1	0.1	26.5	0.1	-4.6	-14.7%	7.56	***
Loja 2015-2016	33.0	0.1	34.2	0.1	1.2	3.7%	1.10	
Los Ríos 2015-2016	57.3	0.1	53.4	0.1	-3.9	-6.8%	4.31	***
Manabí 2015-2016	48.6	0.0	50.5	0.0	1.9	4.0%	-1.38	
Morona Santiago 2015-2016	59.7	0.1	63.4	0.1	3.6	6.1%	-2.10	***
Napo 2015-2016	57.5	0.1	60.7	0.1	3.2	5.6%	-2.40	***
Orellana 2015-2016	58.9	0.1	53.3	0.1	-5.6	-9.6%	-0.96	
Pastaza 2015-2016	59.1	0.2	66.9	0.1	7.7	13.0%	1.45	
Pichincha 2015-2016	9.9	0.0	14.4	0.0	4.5	45.5%	-3.76	***
Santa Elena 2015-2016	41.0	0.1	40.6	0.1	-0.5	-1.1%	0.34	
Santo Domingo 2015-2016	40.9	0.1	38.4	0.1	-2.6	-6.3%	0.68	
Sucumbíos 2015-2016	58.4	0.1	56.7	0.1	-1.7	-2.8%	-0.30	
Tungurahua 2015-2016	32.5	0.1	30.4	0.1	-2.1	-6.5%	1.60	
Zamora Chinchipe 2015-2016	48.2	0.2	50.8	0.1	2.7	5.5%	-1.80	*
Zonas no delimitadas 2015-2016	82.3	0.2	78.8	0.2	-3.6	-4.3%	0.00	

Note: *** statistically significant at $\alpha=0.01$, ** statistically significant at $\alpha=0.05$, * statistically significant at $\alpha=0.10$

Table B.3: Levels, Changes and Statistical Significance of Changes in Intensity
(A_T)

Country / Provinces	Intensity of poverty (AT %)				Annualized Change		t-statistic for difference	
	Year 1	Std. Err.	Year 2	Std. Err.	Absolute	%Relative		
National Level								
Ecuador 2015-2016	48.8	0.0	48.1	0.0	-0.6	-1.3%	2.73	***
Subnational Level								
Azuay 2015-2016	46.0	0.0	44.2	0.0	-1.8	-3.8%	0.93	
Bolívar 2015-2016	52.1	0.0	50.9	0.0	-1.3	-2.4%	0.93	
Cañar 2015-2016	47.5	0.0	46.9	0.0	-0.6	-1.2%	1.82	*
Carchi 2015-2016	43.7	0.0	44.6	0.0	0.9	2.1%	0.07	
Chimborazo 2015-2016	54.2	0.0	51.0	0.0	-3.2	-5.9%	1.96	**
Cotopaxi 2015-2016	52.9	0.0	51.7	0.0	-1.2	-2.3%	2.10	***
El Oro 2015-2016	44.1	0.0	43.3	0.0	-0.8	-1.8%	0.23	
Esmeraldas 2015-2016	52.5	0.0	53.5	0.0	1.0	1.9%	-0.62	
Galápagos 2015-2016	40.0	0.1	41.7	0.1	1.7	4.1%	-1.61	
Guayas 2015-2016	45.2	0.0	46.0	0.0	0.7	1.6%	-3.74	***
Imbabura 2015-2016	46.8	0.0	43.1	0.0	-3.7	-8.0%	10.45	***
Loja 2015-2016	47.0	0.0	46.8	0.0	-0.2	-0.4%	-1.54	
Los Ríos 2015-2016	47.9	0.0	47.1	0.0	-0.8	-1.6%	0.87	
Manabí 2015-2016	50.1	0.0	49.0	0.0	-1.1	-2.2%	2.96	***
Morona Santiago 2015-2016	61.6	0.0	61.2	0.0	-0.4	-0.6%	1.41	
Napo 2015-2016	55.8	0.1	56.4	0.1	0.6	1.0%	-1.59	
Orellana 2015-2016	60.1	0.1	58.7	0.1	-1.4	-2.3%	-1.88	*
Pastaza 2015-2016	62.6	0.1	66.0	0.1	3.4	5.4%	-1.56	
Pichincha 2015-2016	45.5	0.0	44.4	0.0	-1.0	-2.3%	3.10	***
Santa Elena 2015-2016	44.2	0.0	44.6	0.0	0.4	1.0%	-0.92	
Santo Domingo 2015-2016	46.2	0.0	46.2	0.0	0.0	0.1%	1.21	
Sucumbíos 2015-2016	53.8	0.0	52.4	0.0	-1.5	-2.7%	1.01	
Tungurahua 2015-2016	45.9	0.0	43.7	0.0	-2.2	-4.7%	6.24	***
Zamora Chinchipe 2015-2016	53.3	0.1	54.2	0.1	0.9	1.7%	-2.98	***
Non-delimited areas 2015-2016	51.1	0.1	50.4	0.1	-0.7	-1.4%	-0.61	

Note: *** statistically significant at $\alpha=0.01$, ** statistically significant at $\alpha=0.05$, * statistically significant at $\alpha=0.10$

Table B.4: Comparison between Change in Annualized Incidence of MPI and Income-poverty

Country / Provinces	MPI Headcount Ratio (H _T)				Annualized Change		Income Poverty		Annualized Change	
	Year 1	Std. Err.	Year 2	Std. Err.	Absolute	%Relative	Year 1	Year 2	Absolute	%Relative
National Level										
Ecuador 2015-2016	35.0	0.0	35.1	0.0	0.1	0.4%	23.3	22.9	-0.4	-1.5%
Subnational Level										
Azuay 2015-2016	28.2	0.0	28.7	0.0	0.5	1.8%	16.0	15.0	-1.0	-6.4%
Bolívar 2015-2016	61.0	0.1	45.4	0.1	-15.6	-25.6%	39.5	36.6	-3.0	-7.5%
Cañar 2015-2016	32.9	0.1	38.6	0.1	5.8	17.5%	22.9	24.4	1.5	6.5%
Carchi 2015-2016	33.2	0.1	29.9	0.1	-3.3	-10.0%	33.5	35.2	1.7	4.9%
Chimborazo 2015-2016	63.9	0.1	52.4	0.1	-11.5	-18.0%	43.5	44.0	0.5	1.2%
Cotopaxi 2015-2016	53.8	0.1	49.6	0.1	-4.2	-7.8%	26.9	29.9	3.0	11.0%
El Oro 2015-2016	25.9	0.1	27.4	0.1	1.5	5.7%	16.4	18.3	1.9	11.6%
Esmeraldas 2015-2016	54.5	0.1	57.4	0.1	2.9	5.3%	46.3	43.1	-3.2	-6.9%
Galápagos 2015-2016	11.0	0.2	10.5	0.2	-0.5	-4.6%	0.7	0.4	-0.3	-43.2%
Guayas 2015-2016	31.0	0.0	31.1	0.0	0.2	0.6%	17.3	17.7	0.4	2.3%
Imbabura 2015-2016	31.1	0.1	26.5	0.1	-4.6	-14.7%	26.6	27.8	1.2	4.6%
Loja 2015-2016	33.0	0.1	34.2	0.1	1.2	3.7%	23.4	27.5	4.1	17.6%
Los Ríos 2015-2016	57.3	0.1	53.4	0.1	-3.9	-6.8%	29.2	25.3	-3.9	-13.3%
Manabí 2015-2016	48.6	0.0	50.5	0.0	1.9	4.0%	33.3	25.2	-8.1	-24.3%
Morona Santiago 2015-2016	59.7	0.1	63.4	0.1	3.6	6.1%	50.5	50.6	0.1	0.3%
Napo 2015-2016	57.5	0.1	60.7	0.1	3.2	5.6%	51.1	49.8	-1.3	-2.5%
Orellana 2015-2016	58.9	0.1	53.3	0.1	-5.6	-9.6%	47.5	42.3	-5.1	-10.8%
Pastaza 2015-2016	59.1	0.2	66.9	0.1	7.7	13.0%	45.8	56.4	10.6	23.2%
Pichincha 2015-2016	9.9	0.0	14.4	0.0	4.5	45.5%	11.3	13.6	2.3	20.6%
Santa Elena 2015-2016	41.0	0.1	40.6	0.1	-0.5	-1.1%	30.9	27.6	-3.3	-10.8%
Santo Domingo 2015-2016	40.9	0.1	38.4	0.1	-2.6	-6.3%	22.4	16.6	-5.8	-26.0%
Sucumbios 2015-2016	58.4	0.1	56.7	0.1	-1.7	-2.8%	39.3	37.9	-1.4	-3.6%
Tungurahua 2015-2016	32.5	0.1	30.4	0.1	-2.1	-6.5%	17.9	21.8	4.0	22.1%
Zamora Chinchipe 2015-2016	48.2	0.2	50.8	0.1	2.7	5.5%	33.9	37.0	3.1	9.2%
Non-delimited areas 2015-2016	82.3	0.2	78.8	0.2	-3.6	-4.3%	25.9	24.6	-1.3	-5.1%

Table B.5: Annualized Change in the Number of Poor

Country / Provinces	MPI Headcount H _T (%)		Population (in thousand)		Total MPI poor (in thousand)			
	Year 1	Year 2	Year 1	Year 2	Year 1	Year 2	Annual absolute change (p.p)	Annual relative change (%)
National Level								
Ecuador 2015-2016	35.0	35.1	16223	16597	5670	5825	155	2.7%
Subnational Level								
Azuay 2015-2016	28.2	28.7	817	838	230	241	10	4.3%
Bolívar 2015-2016	61.0	45.4	202	206	123	94	-30	-24.0%
Cañar 2015-2016	32.9	38.6	260	267	85	103	18	20.7%
Carchi 2015-2016	33.2	29.9	175	180	58	54	-4	-7.3%
Chimborazo 2015-2016	63.9	52.4	502	509	321	266	-54	-16.9%
Cotopaxi 2015-2016	53.8	49.6	458	467	246	231	-15	-5.9%
El Oro 2015-2016	25.9	27.4	673	684	174	187	13	7.4%
Esmeraldas 2015-2016	54.5	57.4	597	611	325	351	25	7.8%
Galápagos 2015-2016	11.0	10.5	30	30	3	3	0	-2.4%
Guayas 2015-2016	31.0	31.1	4094	4155	1267	1294	27	2.1%
Imbabura 2015-2016	31.1	26.5	436	450	136	119	-16	-11.8%
Loja 2015-2016	33.0	34.2	497	503	164	172	8	5.1%
Los Ríos 2015-2016	57.3	53.4	866	884	497	472	-25	-4.9%
Manabí 2015-2016	48.6	50.5	1491	1510	725	763	38	5.3%
Morona Santiago 2015-2016	59.7	63.4	177	184	106	117	11	10.2%
Napo 2015-2016	57.5	60.7	121	125	69	76	7	9.5%
Orellana 2015-2016	58.9	53.3	151	154	89	82	-7	-7.7%
Pastaza 2015-2016	59.1	66.9	101	105	60	70	11	17.9%
Pichincha 2015-2016	9.9	14.4	2884	3000	285	432	146	51.3%
Santa Elena 2015-2016	41.0	40.6	363	371	149	151	2	1.3%
Santo Domingo 2015-2016	40.9	38.4	421	430	172	165	-7	-4.2%
Sucumbios 2015-2016	58.4	56.7	207	215	121	122	1	0.9%
Tungurahua 2015-2016	32.5	30.4	554	564	180	171	-9	-4.8%
Zamora Chinchipe 2015-2016	48.2	50.8	109	112	52	57	5	9.1%
Non-delimited areas 2015-2016	82.3	78.8	38	40	32	31	0	-0.9%

Table B.6: Annualized Absolute Change in Raw Headcount Ratios (percentage points)

Country / Provinces	Ind1_1 Non-attendance to basic education and baccalaureate	Ind1_2 No access to higher education for economic reasons	Ind1_3 Incomplete educational achievement	Ind2_1 Child and adolescent employment	Ind2_2 Unemployment or inappropriate employment	Ind2_3 Non-contribution to the pension system	Ind3_1 Extreme Poverty by Income	Ind3_2 No public water service	Ind4_1 Overcrowding	Ind4_2 Housing deficit	Ind4_3 Without excreta sanitation	Ind4_4 No trash collection service
National Level												
Ecuador 2015-2016	-0.3 *	1.2 ***	1.0 ***	1.6 ***	5.5 ***	2.9 ***	0.2 ***	-3.3 ***	-1.1 ***	-1.0 **	0.2 ***	-0.4 ***
Subnational Level												
Azuay 2015-2016	-0.6	0.4 ***	-2.1	3.7 ***	6.3 ***	4.3 ***	-0.4	-0.2	-2.5 ***	7.6 ***	-1.6 *	-3.4 ***
Bolívar 2015-2016	3.4	0.6	-3.0	3.4 ***	0.3 ***	-0.3 ***	-3.5	-22.3 ***	-3.9 *	-5.9 ***	-7.2 ***	-11.5 ***
Cañar 2015-2016	0.2	-1.0 ***	-0.2	4.6 ***	5.5 ***	-1.8	0.5	7.8 ***	2.0	-2.1	-1.6 ***	0.9
Carchi 2015-2016	-0.3	-2.5	-3.7 *	0.1	-1.9	1.6 ***	1.3	-4.0 ***	-2.3 ***	3.5	0.8 *	-1.8 ***
Chimborazo 2015-2016	-2.8 ***	2.2	0.3	2.1 ***	2.1 ***	0.6	-2.3 ***	-33.5 ***	-9.8 ***	-0.2	-3.4 **	-2.3
Cotopaxi 2015-2016	-1.4 ***	2.2 ***	-1.4	2.5 ***	2.0 ***	1.2	1.4 ***	-23.1 ***	-2.0 ***	-0.5	3.4 ***	-3.7 ***
El Oro 2015-2016	-1.3	-2.1	0.4	0.5 ***	5.4 ***	1.8	0.1	2.1 ***	1.9	-0.1 *	0.4	-0.2
Esmeraldas 2015-2016	2.5	0.3	3.1	1.4 ***	0.0 ***	0.7	-2.6 ***	6.3 ***	3.4	2.1 **	5.9 ***	1.9
Galápagos 2015-2016	3.1 ***	-1.0 *	-0.3	0.9	-1.5 ***	7.2	0.2	-13.3 ***	-5.9 ***	4.3	21.8 ***	-3.6 ***
Guayas 2015-2016	-0.7	1.4 ***	0.4	1.1 ***	6.2 ***	1.2 *	1.9 ***	-0.7	-2.0 ***	-5.4 ***	0.2	0.0 **
Imbabura 2015-2016	0.4	-0.4 ***	1.0	-3.5 ***	4.0 ***	0.0	1.2 ***	-13.1 ***	-2.5 ***	-7.3 ***	-1.5 ***	1.5
Loja 2015-2016	-2.6 ***	2.8	1.5	2.9 ***	3.6	0.5	2.5	-5.6 ***	-0.5	1.4 ***	3.9 **	-1.4
Los Ríos 2015-2016	-0.3	0.9	-0.9	-0.8	2.1 ***	0.3	-0.7	-5.6 ***	-0.2	-2.8 ***	-2.1 ***	-2.1
Manabí 2015-2016	-0.7	0.1	1.0	1.7 ***	4.1 ***	5.9 ***	-5.0 ***	-0.5	-0.6 *	-0.5 ***	-0.7	0.9 *
Morona Santiago 2015-2016	-2.5 **	-3.8 ***	-0.1 *	-1.3	3.1 ***	2.6 *	2.8 ***	-0.8	1.9	13.6 ***	5.3	6.1 *
Napo 2015-2016	-4.0 ***	2.0 ***	-1.7	16.1 ***	8.6 ***	7.7 ***	0.6 *	0.6	-2.8 ***	-2.1 **	-4.2 ***	-1.1 **
Orellana 2015-2016	2.4 ***	5.1 ***	-6.6	8.2 ***	0.1 ***	1.0 ***	-5.5 **	-12.8 ***	-8.5 ***	-4.9	-7.3 ***	-7.2 *
Pastaza 2015-2016	3.5	-0.8	4.1 *	17.6 ***	6.1 ***	6.0 *	9.7 ***	5.1 ***	0.5 ***	0.3 ***	3.9 ***	9.5
Pichincha 2015-2016	0.8	4.0 ***	6.1 ***	2.0 ***	11.5 ***	7.4 ***	1.1 ***	-1.4 ***	-0.2	3.5 ***	2.2	0.5
Santa Elena 2015-2016	1.9 ***	-0.8 ***	0.7	0.1 ***	2.6 ***	3.8 ***	0.2	-1.2	1.8	-3.8 ***	-2.8 ***	1.8 *
Santo Domingo 2015-2016	-2.6	-0.3	0.1 ***	1.0	2.4	1.2 ***	-1.9 ***	1.5	1.6	-3.7 ***	-1.9	-0.2 ***
Sucumbíos 2015-2016	-1.3 **	2.7	-5.7	-0.9 *	0.8 ***	1.7 *	-2.2	5.9 ***	0.0	-8.8 ***	-6.4 ***	-7.4
Tungurahua 2015-2016	-0.2 *	-2.8 ***	-0.1	0.5 *	6.3 ***	3.2 ***	2.6 ***	-11.5 ***	-0.4	0.5	1.1	0.1
Zamora Chinchipe 2015-2016	1.9	-1.4 *	-3.7	-3.6 ***	3.9 ***	3.5 ***	4.3 ***	5.1 ***	-1.1	3.9 ***	0.5	-0.6
Non-delimited areas 2015-2016	-4.9	8.2 ***	-3.9	-1.7	8.4 ***	-7.0 ***	4.4	-11.7 ***	1.6	0.3	-8.5 ***	3.2 **

Note: *** statistically significant at $\alpha=0.01$, ** statistically significant at $\alpha=0.05$, * statistically significant at $\alpha=0.10$

Table B.7: Annualized Absolute Change in Censored Headcount Ratios (percentage points)

Country / Provinces	Ind1_1 Non-attendance to basic education and baccalaureate	Ind1_2 No access to higher education for economic reasons	Ind1_3 Incomplete educational achievement	Ind2_1 Child and adolescent employment	Ind2_2 Unemployment or inappropriate employment	Ind2_3 Non-contribution to the pension system	Ind3_1 Extreme Poverty by Income	Ind3_2 No public water service	Ind4_1 Overcrowding	Ind4_2 Housing deficit	Ind4_3 Without excreta sanitation	Ind4_4 No trash collection service
National Level												
Ecuador 2015-2016	-0.2	1.1 ***	0.0 **	1.1 ***	0.7 ***	1.1 ***	0.2 ***	-3.0 ***	-0.5 ***	-0.7 ***	0.0 ***	-0.8 ***
Subnational Level												
Azuay 2015-2016	-0.5	0.3 **	0.5	3.2 ***	0.3 ***	1.7 *	-0.6	-0.9	-1.7 *	-2.4	-1.6 ***	-3.0 **
Bolívar 2015-2016	0.7	0.3	-14.2	2.5 ***	-13.9 ***	-13.5	-3.7	-20.6 ***	-3.7	-14.1 ***	-7.7 ***	-14.2 ***
Cañar 2015-2016	-0.1 *	-0.2	5.0	4.0 ***	5.6 ***	4.9 *	-0.1	6.1 ***	0.8	2.3	-1.9 ***	1.5
Carchi 2015-2016	-0.2	-1.9	-2.6 *	-0.6	-3.0	-0.2 ***	1.2	-3.8 ***	-0.2 ***	-1.2 *	0.2	-1.2 *
Chimborazo 2015-2016	-2.2	1.2	-8.7	1.9 ***	-11.9 *	-9.3	-2.2 ***	-29.3 ***	-9.2 ***	-5.6	-4.2 *	-5.9 *
Cotopaxi 2015-2016	-0.8	2.1 ***	-2.8	1.4 ***	-1.5 ***	-2.7	1.0 ***	-18.1 ***	-0.6	-2.4	2.3 ***	-4.7 ***
El Oro 2015-2016	-1.0	-0.8	0.0	0.2	1.3 ***	1.9	-0.5	2.2 ***	0.3	0.8	0.5 *	-0.1
Esmeraldas 2015-2016	3.2 **	0.8	2.2	1.1 ***	1.4 ***	2.6	-3.4 ***	5.7 ***	3.2	2.2	5.3 ***	2.7
Galapagos 2015-2016	0.9	0.3	0.6 *	1.5 ***	-1.2 *	-0.1	0.2	-2.3 ***	-1.0 *	1.2 **	2.5 ***	-1.5 ***
Guayas 2015-2016	-0.8	1.5 ***	0.1	0.7 ***	1.1 ***	0.7	1.5 ***	-0.3	-0.7 **	-0.7 ***	0.3	-0.6 *
Imbabura 2015-2016	-0.1	0.0	-4.4 ***	-3.0 ***	-2.7 ***	-3.1 *	0.7 ***	-11.8 ***	-2.4 ***	-5.7 ***	-2.7 ***	0.6
Loja 2015-2016	-1.4 **	1.3	1.3	1.5 ***	1.7 *	1.5	2.3	-4.7 ***	1.6	1.9 ***	2.6 **	-0.8
Los Rios 2015-2016	-1.1	1.7 ***	-3.4	-0.6	-2.8	-2.9	-0.7	-7.1 ***	1.6	-3.9 ***	-1.6 ***	-4.8
Manabí 2015-2016	-0.8	1.1	1.3	0.9 ***	1.9 ***	4.2 ***	-4.6 ***	0.5	-0.6 *	2.6	0.4	1.1
Morona Santiago 2015-2016	-2.1	-3.0 ***	2.3	-1.6	4.5 ***	4.5	2.1 **	-0.8 ***	0.9	10.6 ***	4.9	6.6 **
Napo 2015-2016	-2.7 **	1.3 ***	1.0	15.2 ***	5.8 ***	5.6 ***	1.2	1.4	-0.6 ***	-0.6 ***	-3.7 ***	-0.8 *
Orellana 2015-2016	2.2 ***	5.3 ***	-6.1	7.7 ***	-3.8 ***	-4.0 ***	-5.4 **	-12.9 ***	-8.4 ***	-8.5 ***	-6.3	-7.6 *
Pastaza 2015-2016	3.6	0.1	6.9	17.1 ***	9.7 ***	8.7 **	10.1 ***	6.3 ***	1.0 ***	3.8 ***	4.3 ***	9.9
Pichincha 2015-2016	1.4 ***	2.5 ***	3.9	1.5 ***	5.2 ***	4.9 ***	1.9 ***	-1.5 ***	0.2 **	1.4	1.4	0.7
Santa Elena 2015-2016	2.4 ***	-0.4	-1.1	0.2 ***	-0.9 ***	1.1 ***	0.3	-1.1	0.5	-0.8 ***	-1.3 **	1.1
Santo Domingo 2015-2016	-2.6	0.1	-0.9 ***	0.2	-2.0	-1.0	-2.2 ***	0.3	-0.2	-4.9 ***	-1.0	-0.5 ***
Sucumbios 2015-2016	-2.0 ***	2.8 **	-2.9	-1.1 **	-2.5	1.6 *	-2.4	0.1 ***	1.5 **	-7.9 ***	-3.6 **	-7.7
Tungurahua 2015-2016	1.1	-1.6 *	-2.9	0.0 *	-1.6 ***	-1.2 ***	2.1 ***	-10.5 ***	0.1 *	-1.0	0.0	0.0
Zamora Chinchipe 2015-2016	2.2	-1.6 **	1.3	-3.5 ***	3.2 ***	3.4 ***	3.7 ***	5.4 ***	0.5	4.1 ***	0.1 *	0.3
Non-delimited areas 2015-2016	-4.9	6.7 ***	-1.1 **	-1.7	0.9 ***	-6.1	4.4	-11.1 ***	3.4 **	-6.2	-18.9	5.1

Note: *** statistically significant at $\alpha=0.01$, ** statistically significant at $\alpha=0.05$, * statistically significant at $\alpha=0.10$

Table B.8: Indicators Contribution to Annualized Absolute Change in MPIT

Country / Provinces	Ind1_1 Non-attendance to basic education and baccalaureate	Ind1_2 No access to higher education for economic reasons	Ind1_3 Incomplete educational achievement	Ind2_1 Child and adolescent employment	Ind2_2 Unemployment or inappropriate employment	Ind2_3 Non-contribution to the pension system	Ind3_1 Extreme Poverty by Income	Ind3_2 No public water service	Ind4_1 Overcrowding	Ind4_2 Housing deficit	Ind4_3 Without excreta sanitation	Ind4_4 No trash collection service
National Level												
Ecuador 2015-2016	11%	-65%	1%	-62%	-41%	-63%	-15%	254%	20%	29%	-2%	32%
Subnational Level												
Azuay 2015-2016	15%	-8%	-15%	-96%	-9%	-53%	27%	42%	39%	56%	36%	68%
Bolívar 2015-2016	-1%	0%	14%	-2%	13%	13%	5%	30%	3%	10%	6%	10%
Cañar 2015-2016	0%	-1%	17%	13%	19%	16%	-1%	30%	2%	6%	-5%	4%
Carchi 2015-2016	1%	14%	19%	4%	21%	1%	-13%	40%	1%	7%	-1%	6%
Chimborazo 2015-2016	2%	-1%	9%	-2%	13%	10%	3%	46%	7%	4%	3%	5%
Cotopaxi 2015-2016	2%	-6%	8%	-4%	5%	8%	-4%	80%	1%	5%	-5%	10%
El Oro 2015-2016	-20%	-16%	1%	3%	24%	37%	-14%	63%	4%	12%	8%	-1%
Esmeraldas 2015-2016	13%	3%	9%	4%	6%	10%	-20%	34%	10%	7%	16%	8%
Galápagos 2015-2016	-275%	-88%	-192%	-471%	358%	41%	-73%	1067%	228%	-279%	-570%	354%
Guayas 2015-2016	-22%	40%	1%	20%	29%	19%	60%	-13%	-13%	-14%	6%	-13%
Imbabura 2015-2016	0%	0%	12%	8%	7%	8%	-3%	47%	5%	11%	5%	-1%
Loja 2015-2016	-23%	21%	21%	24%	28%	23%	56%	-114%	19%	23%	31%	-9%
Los Ríos 2015-2016	4%	-6%	12%	2%	10%	10%	4%	39%	-4%	11%	4%	13%
Manabí 2015-2016	-17%	22%	26%	18%	39%	86%	-143%	15%	-9%	40%	6%	18%
Morona Santiago 2015-2016	-9%	-13%	10%	-7%	19%	19%	13%	-5%	3%	33%	15%	21%
Napo 2015-2016	-10%	5%	4%	59%	22%	22%	7%	8%	-2%	-2%	-11%	-2%
Orellana 2015-2016	-4%	-11%	12%	-16%	8%	8%	17%	39%	13%	13%	10%	12%
Pastaza 2015-2016	4%	0%	8%	20%	11%	10%	18%	11%	1%	3%	4%	9%
Pichincha 2015-2016	6%	11%	17%	6%	23%	22%	13%	-10%	1%	5%	5%	2%
Santa Elena 2015-2016	-698%	113%	321%	-70%	274%	-336%	-125%	506%	-118%	189%	290%	-246%
Santo Domingo 2015-2016	18%	-1%	6%	-1%	14%	7%	24%	-3%	1%	26%	5%	3%
Sucumbíos 2015-2016	9%	-14%	14%	5%	12%	-8%	17%	-1%	-5%	29%	13%	28%
Tungurahua 2015-2016	-5%	8%	15%	0%	8%	6%	-17%	81%	0%	4%	0%	0%
Zamora Chinchipe 2015-2016	10%	-7%	6%	-16%	14%	15%	25%	36%	2%	14%	0%	1%
Non-delimited areas 2015-2016	17%	-23%	4%	6%	-3%	21%	-23%	58%	-9%	16%	49%	-13%

Note: *** statistically significant at $\alpha=0.01$, ** statistically significant at $\alpha=0.05$, * statistically significant at $\alpha=0.10$

Table B.9: Theoretical decomposition of changes in M_0 using panel data

Country / Provinces	Panel Data Analysis, Subgroups:				$M_0(X_{t^2}^O)$	$M_0(X_{t^1}^O)$	$M_0(X_{t^1}^{E^-})$	$M_0(X_{t^2}^{E^+})$	ΔM_0^O	$\Delta M_0^{E^-}$	$\Delta M_0^{E^+}$	ΔM_0
	N, O, E ⁻ , E ⁺											
	n^N	n^O	n^{E^-}	n^{E^+}								
National Level												
Ecuador 2015-2016	6988721	3209383	1147452	1153041	50.85%	51.24%	41.60%	41.11%	-0.10%	3.82%	3.79%	-0.13%
Subnational Level												
Azuay 2015-2016	381392	114899	60848	71717	48.26%	49.60%	39.97%	40.97%	-0.24%	3.87%	4.67%	0.56%
Bolívar 2015-2016	53222	66238	20398	7438	52.27%	54.24%	44.40%	39.86%	-0.89%	6.15%	2.01%	-5.02%
Cañar 2015-2016	102090	48087	20936	28278	49.74%	50.09%	41.02%	42.78%	-0.09%	4.31%	6.07%	1.67%
Carchi 2015-2016	77678	27093	18518	17798	46.17%	44.86%	41.55%	40.92%	0.25%	5.45%	5.16%	-0.04%
Chimborazo 2015-2016	121575	194423	57265	17119	53.83%	57.35%	43.39%	41.06%	-1.75%	6.36%	1.80%	-6.32%
Cotopaxi 2015-2016	129788	152430	45750	31856	54.96%	56.42%	41.95%	40.14%	-0.62%	5.33%	3.55%	-2.40%
El Oro 2015-2016	334111	75768	53032	61033	46.17%	45.60%	40.94%	40.80%	0.08%	4.14%	4.75%	0.69%
Esmeraldas 2015-2016	164777	194586	37506	38519	53.96%	54.03%	45.28%	43.72%	-0.03%	3.90%	3.87%	-0.07%
Galápagos 2015-2016	2746	0	319	294	0.00%	0.00%	38.15%	37.90%	0.00%	3.63%	3.32%	-0.31%
Guayas 2015-2016	1950338	735100	270542	312324	48.41%	47.49%	39.83%	41.10%	0.21%	3.30%	3.93%	0.84%
Imbabura 2015-2016	202501	63141	47676	25827	44.99%	49.59%	43.72%	40.29%	-0.86%	6.15%	3.07%	-3.94%
Loja 2015-2016	219610	88599	36868	33951	50.66%	49.95%	41.90%	40.35%	0.16%	4.08%	3.61%	-0.30%
Los Ríos 2015-2016	231527	304565	99935	56244	48.52%	49.71%	41.72%	42.62%	-0.52%	6.02%	3.46%	-3.08%
Manabí 2015-2016	458174	437532	115410	121553	50.76%	51.73%	42.60%	41.98%	-0.38%	4.34%	4.51%	-0.21%
Morona Santiago 2015-2016	39822	67654	7691	11821	62.91%	63.61%	42.22%	44.69%	-0.37%	2.56%	4.16%	1.23%
Napo 2015-2016	29197	45549	7562	11087	60.64%	58.48%	43.70%	44.93%	1.05%	3.54%	5.33%	2.85%
Orellana 2015-2016	32577	48864	7381	9054	62.01%	60.67%	41.96%	43.22%	0.67%	3.16%	4.00%	1.50%
Pastaza 2015-2016	26225	39915	4600	3984	66.07%	65.72%	44.71%	40.91%	0.19%	2.75%	2.18%	-0.38%
Pichincha 2015-2016	1821302	131844	85373	157655	50.44%	48.77%	40.43%	39.39%	0.10%	1.57%	2.83%	1.36%
Santa Elena 2015-2016	136866	78641	36800	38127	45.88%	44.86%	41.62%	40.55%	0.27%	5.27%	5.32%	0.32%
Santo Domingo 2015-2016	155726	93619	36173	29645	47.77%	47.78%	41.73%	40.61%	0.00%	4.79%	3.82%	-0.97%
Sucumbios 2015-2016	47003	81064	16397	14937	55.05%	56.41%	45.89%	43.23%	-0.69%	4.72%	4.05%	-1.36%
Tungurahua 2015-2016	237542	76026	54194	41780	45.90%	47.34%	42.72%	39.66%	-0.27%	5.65%	4.05%	-1.88%
Zamora Chinchipe 2015-2016	32414	31907	5759	9054	56.05%	55.67%	42.42%	43.18%	0.15%	3.09%	4.94%	2.01%
Non-delimited areas 2015-2016	519	11837	519	1947	54.59%	55.00%	39.64%	43.63%	-0.33%	1.39%	5.73%	4.02%

ANEXO C: Tablas – Pobreza por Ingresos y Modelos Logit

Table C.1: Logistic models of qualitative response for the year 2014

Variable	NATIONAL					SOUTH BORDER				
	The model			Probability of being Poor		The model			Probability of being Poor	
	Estimated Coefficients			Marginal Effects		Estimated Coefficients			Marginal Effects	
	β	Odds Ratio	Z-values	dy/dx	Z-values	β	Odds Ratio	Z-values	dy/dx	Z-values
SEX*	-0.348	0.706	-6.39***	-0.040	-5.98***	-0.390	0.677	-3.82***	-0.056	-3.57***
AGE	-0.007	0.993	-4.25***	-0.001	-4.24***	-0.009	0.991	-2.79***	-0.001	-2.79***
MARY*	0.191	1.211	3.33***	0.020	3.31***	0.177	1.194	1.67*	0.024	1.66*
NOMARY*	0.288	1.334	4.64***	0.033	4.37***	0.183	1.200	1.59	0.025	1.54
INDI*	0.692	1.998	13.76***	0.090	11.42***	0.908	2.479	10.72***	0.147	9.03***
AFRO*	0.317	1.373	3.85***	0.038	3.48***	0.349	1.418	1.82*	0.052	1.64*
MONT*	0.339	1.403	3.52***	0.041	3.15***	-0.570	0.565	-0.98	-0.063	-1.23
WOUTEDU*	1.270	3.560	12.17***	0.199	9.23***	1.307	3.696	6.52***	0.247	5.24***
PRIMAR*	0.895	2.449	10.48***	0.098	10.13***	0.879	2.409	6.09***	0.121	5.91***
SECOND*	0.381	1.464	4.37***	0.043	4.12***	0.427	1.532	2.96***	0.060	2.81***
UNIVERD*	-0.772	0.462	-4.73***	-0.065	-6.34***	-0.789	0.454	-2.69***	-0.084	-3.58***
POSTGRD*	-1.306	0.271	-2.19**	-0.087	-4.08***	-0.208	0.812	-0.27	-0.026	-0.29
EMPSECGOV*	-2.815	0.060	-18.21***	-0.144	-41.21***	-2.541	0.079	-11.83***	-0.191	-23.28***
EMPSECPRIV*	-1.379	0.252	-23.26***	-0.111	-28.56***	-1.240	0.289	-10.78***	-0.127	-13.93***
EMPSECOWN*	0.130	1.139	3.35***	0.014	3.30***	0.271	1.312	3.55***	0.037	3.46***
EMPSECBOS* ^a	-1.067	0.344	-9.89***	-0.079	-14.81***	-0.817	0.442	-3.94***	-0.084	-5.34***
OCCHH*	0.591	1.806	14.96***	0.070	13.25***	0.753	2.123	9.92***	0.110	8.91***
HSIZE	0.350	1.419	19.87***	0.037	19.25***	0.315	1.370	9.58***	0.042	9.48***
OVE65AGE	0.508	1.662	13.28***	0.054	13.19***	0.493	1.637	6.66***	0.066	6.66***
UND14AGE	0.314	1.369	13.30***	0.034	13.10***	0.292	1.339	6.63***	0.039	6.57***
HEARNER	-1.085	0.338	-37.78***	-0.116	-35.48***	-1.056	0.348	-19.09***	-0.141	-18.83***
LOCAL1*	0.352	1.422	8.38***	0.041	7.77***	-	-	-	-	-
LOCAL2*	-0.207	0.813	-2.51**	-0.021	-2.70***	-	-	-	-	-
LOCAL3*	0.583	1.791	9.63***	0.074	8.18***	-	-	-	-	-
WATER*	-0.419	0.658	-10.81***	-0.048	-10.01***	-0.515	0.598	-7.23***	-0.073	-6.82***
CONS	-1.471	0.230	-12.08***	-	-	-1.114	0.328	-5.33***	-	-
Pseudo R2: 0.3051					Pseudo R2: 0.3471					
Correctly classified = 83.49%					Correctly classified = 82.84%					
Ratio of predicted to actual: 12.14%					Ratio of predicted to actual: 15.92%					
Log Likelihood = -11140.237					Log Likelihood = -3113.335					

(*) dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

*** statistically significant at $\alpha=0.01$, ** statistically significant at $\alpha=0.05$, * statistically significant at $\alpha=0.10$

LOCAL1*, corresponds (Loja, Zamora, Morona Santiago, Pastaza, Orellana, Sucumbios and Napo)

LOCAL2*, corresponds (El Oro)

LOCAL3*, corresponds (Esmeraldas and Carchi)

Table C.2: Logistic models of qualitative response for the year 2015

Variable	NATIONAL					SOUTH BORDER				
	The model			Probability of being Poor		The model			Probability of being Poor	
	Estimated Coefficients			Marginal Effects		Estimated Coefficients			Marginal Effects	
	β	Odds Ratio	Z-values	dy/dx	Z-values	β	Odds Ratio	Z-values	dy/dx	Z-values
SEX*	-0.276	0.759	-5.32***	-0.034	-5.08***	-0.222	0.801	-2.24**	-0.034	-2.16**
AGE	-0.005	0.995	-3.07***	-0.001	-3.07***	-0.005	0.995	-1.65*	-0.001	-1.65*
MARY*	0.121	1.128	2.18**	0.014	2.17**	0.238	1.269	2.3**	0.036	2.28**
NOMARY*	0.247	1.280	4.19***	0.031	3.99***	0.239	1.269	2.17**	0.037	2.1**
INDI*	0.662	1.939	13.65***	0.094	11.58***	0.915	2.496	11.23***	0.161	9.73***
AFRO*	0.268	1.307	3.44***	0.035	3.17***	0.393	1.481	2.04**	0.066	1.85*
MONT*	0.334	1.396	3.88***	0.044	3.50***	0.291	1.337	0.66	0.047	0.61
WOUTEDU*	1.291	3.635	12.65***	0.222	9.85***	1.199	3.315	6.18***	0.238	5.15***
PRIMAR*	0.862	2.368	10.49***	0.107	10.05***	0.677	1.967	4.86***	0.104	4.73***
SECOND*	0.366	1.441	4.42***	0.046	4.21***	0.295	1.344	2.15**	0.045	2.09**
UNIVERD*	-0.741	0.477	-5.09***	-0.071	-6.64***	-0.609	0.544	-2.41**	-0.077	-2.95***
POSTGRD*	-1.052	0.349	-2.24**	-0.086	-3.58***	-0.614	0.541	-0.81	-0.075	-1.02
EMPSECGOV*	-2.385	0.092	-17.75***	-0.152	-38.41***	-2.428	0.088	-12.45***	-0.213	-24.38***
EMPSECPRIV*	-1.231	0.292	-21.52***	-0.115	-26.71***	-1.402	0.246	-12.02***	-0.156	-16.36***
EMPSECOWN*	0.301	1.351	7.90***	0.037	7.61***	0.359	1.432	4.94***	0.055	4.8***
EMPSECBOSS*	-0.988	0.372	-8.98***	-0.085	-13.10***	-1.220	0.295	-5.11***	-0.125	-8.18***
OCCHH*	0.539	1.714	13.96***	0.070	12.62***	0.464	1.590	6.37***	0.073	5.99***
HSIZE	0.116	1.123	7.44***	0.014	7.41***	0.107	1.113	3.75***	0.016	3.75***
OVE65AGE	0.318	1.374	8.45***	0.038	8.44***	0.212	1.237	2.88***	0.032	2.88***
UND14AGE	0.616	1.851	27.52***	0.073	26.66***	0.546	1.727	13.51***	0.082	13.26***
HEARNER	-0.408	0.665	-22.63***	-0.049	-22.29***	-0.311	0.732	-9.25***	-0.046	-9.23***
LOCAL1*	0.462	1.587	11.22***	0.060	10.24***	-	-	-	-	-
LOCAL2*	-0.169	0.844	-2.12**	-0.019	-2.24**	-	-	-	-	-
LOCAL3*	0.835	2.304	14.26***	0.126	11.71***	-	-	-	-	-
WATER*	-0.518	0.596	-13.38***	-0.068	-12.13***	-0.605	0.546	-8.51***	-0.098	-7.91***
CONS	-1.962	0.141	-17.07***	-	-	-1.595	0.203	-7.99***	-	-
Pseudo R2: 0.2717					Pseudo R2: 0.3132					
Correctly classified = 82.13%					Correctly classified = 81.78%					
Ratio of predicted to actual: 13.80%					Ratio of predicted to actual: 18.26%					
Log Likelihood = -11555.636					Log Likelihood = -3289.1899					

(*) dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

*** statistically significant at $\alpha=0.01$, ** statistically significant at $\alpha=0.05$, * statistically significant at $\alpha=0.10$

LOCAL1*, corresponds (Loja, Zamora, Morona Santiago, Pastaza, Orellana, Sucumbios and Napo)

LOCAL2*, corresponds (El Oro)

LOCAL3*, corresponds (Esmeraldas and Carchi)

Table C.3: Logistic models of qualitative response for the year 2016

Variable	NATIONAL					SOUTH BORDER				
	The model			Probability of being Poor		The model			Probability of being Poor	
	Estimated Coefficients			Marginal Effects		Estimated Coefficients			Marginal Effects	
	β	Odds Ratio	Z-values	dy/dx	Z-values	β	Odds Ratio	Z-values	dy/dx	Z-values
SEX*	-0.311	0.733	-5.92***	-0.039	-5.59***	-0.328	0.720	-3.28***	-0.056	-3.12***
AGE	-0.007	0.993	-4.41***	-0.001	-4.40***	-0.009	0.991	-2.84***	-0.001	-2.84***
MARY*	0.214	1.239	3.80***	0.026	3.77***	0.162	1.175	1.54	0.027	1.53
NOMARY*	0.245	1.278	4.06***	0.031	3.87***	0.249	1.283	2.23**	0.042	2.15**
INDI*	0.816	2.262	17.08***	0.120	13.95***	0.971	2.642	11.7***	0.186	10.29***
AFRO*	0.135	1.144	1.68*	0.017	1.60	0.052	1.053	0.27	0.009	0.27
MONT*	0.081	1.084	0.87	0.010	0.85	0.770	2.161	1.61	0.153	1.39
WOUTEDU*	1.365	3.917	13.63***	0.237	10.55***	1.204	3.335	6.33***	0.253	5.47***
PRIMAR*	0.951	2.589	11.78***	0.118	11.11***	0.813	2.255	5.72***	0.137	5.57***
SECOND*	0.439	1.551	5.38***	0.055	5.06***	0.338	1.401	2.41**	0.057	2.34**
UNIVERD*	-0.751	0.472	-5.33***	-0.071	-6.92***	-0.586	0.557	-2.55**	-0.082	-3.04***
POSTGRD*	-2.938	0.053	-2.91***	-0.134	-14.51***	-	-	-	-	-
EMPSECGOV*	-2.564	0.077	-17.49***	-0.156	-36.56***	-2.718	0.066	-12.43***	-0.246	-27.82***
EMPSECPRIV*	-1.255	0.285	-21.44***	-0.115	-25.73***	-1.296	0.274	-11.77***	-0.164	-15.43***
EMPSECOWN*	0.266	1.305	7.04***	0.032	6.83***	0.307	1.360	4.18***	0.051	4.12***
EMPSECBOS* ^a	-1.079	0.340	-9.41***	-0.089	-14.10***	-1.083	0.339	-4.81***	-0.128	-7.16***
OCCHH*	0.684	1.982	18.17***	0.091	15.80***	0.655	1.926	9.33***	0.114	8.70***
HSIZE	0.153	1.165	10.06***	0.018	9.93***	0.124	1.132	4.42***	0.020	4.42***
OVE65AGE	0.282	1.325	7.67***	0.033	7.64***	0.168	1.183	2.35**	0.027	2.35**
UND14AGE	0.539	1.715	24.43***	0.064	23.01***	0.514	1.672	12.96***	0.084	12.75***
HEARNER	-0.431	0.650	-24.46***	-0.051	-23.12***	-0.335	0.715	-10.63***	-0.055	-10.57***
LOCAL1*	0.540	1.715	13.27***	0.071	11.84***	-	-	-	-	-
LOCAL2*	-0.170	0.844	-2.18**	-0.019	-2.31**	-	-	-	-	-
LOCAL3*	0.732	2.080	12.50***	0.107	10.39***	-	-	-	-	-
WATER*	-0.290	0.748	-7.24***	-0.037	-6.77***	-0.437	0.646	-6.29***	-0.075	-5.97***
CONS	-2.052	0.129	-17.47***	-	-	-1.379	0.252	-6.83***	-	-
Pseudo R2: 0.2710					Pseudo R2: 0.3070					
Correctly classified = 81.99%					Correctly classified = 80.60%					
Ratio of predicted to actual: 13.75%					Ratio of predicted to actual: 20.56%					
Log Likelihood = -11821.76					Log Likelihood = -3404.9492					

(*) dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

*** statistically significant at $\alpha=0.01$, ** statistically significant at $\alpha=0.05$, * statistically significant at $\alpha=0.10$

LOCAL1*, corresponds (Loja, Zamora, Morona Santiago, Pastaza, Orellana, Sucumbios and Napo)

LOCAL2*, corresponds (El Oro)

LOCAL3*, corresponds (Esmeraldas and Carchi)

ANEXO D: Encuesta – Análisis Multicriterio de Actores ZIF Ecuador-Perú

Taller de Análisis Multicriterial

Caso de Estudio: Deforestación causada por la actividad agrícola en el cantón Zapotillo que forma parte de la reserva de biosfera del bosque seco.

ENCUESTA

INFORMACIÓN GENERAL

Nombre: _____ Cargo: _____

Institución/Organización: _____ Fecha: _____

ANTECEDENTES

Plan Binacional de Desarrollo de la Región Fronteriza, en coordinación con la Subsecretaría Zonal 7 Sur de la SENPLADES se encuentran liderando el desarrollo de un estudio académico de análisis multicriterial para evaluar el potencial de algunas alternativas de intervención que permitan combatir la problemática de la “*Deforestación causada por la actividad agrícola en el cantón Zapotillo que forma parte de la Reserva de Biosfera del Bosque Seco*”.

La Reserva de biosfera “Bosques Secos del Suroccidente del Ecuador”, reconocida por la UNESCO recientemente en el mes de junio del 2014, se localiza geográficamente en el extremo sur occidental de la provincia de Loja en la República del Ecuador, involucra a siete cantones: Paltas, Celica, Pindal, Puyango, Zapotillo, Macará, Sozoranga en la provincia de Loja y el cantón Las Lajas de la provincia de El Oro, con una extensión de 501.040,64 ha. Los gobiernos locales y varias iniciativas de la sociedad civil han puesto en marcha diversas estrategias de gestión y manejo de recursos naturales, principalmente a través del establecimiento de reservas municipales y conservación en propiedades comunitarias y privadas. Algunas de estas iniciativas han recibido el respaldo decidido del Estado central articulando modelos innovadores de gestión compartida de áreas de conservación como en los casos del Bosque Petrificado de Puyango, el Área Ecológica de Conservación Municipal Los Guayacanes en la parroquia Mangahurco y el Área de Bosque y Vegetación Protectora La Ceiba. La Reserva de Biosfera cubre una zona de veda, nueve áreas de importancia para la conservación de aves, varias Áreas del programa Socio Bosque, sitios arqueológicos, 17 áreas protegidas de reserva Municipal, un patrimonio natural del Ecuador

(Bosque petrificado), dos patrimonios culturales de la humanidad (ciudad de Catacocha y el reloj de ocho esferas de la ciudad de Alamor).

En este sentido, el presente estudio académico, plantea cuatro alternativas de intervención, las cuales deben ser evaluadas bajo criterios que consideran la generación de empleo, y al mismo tiempo la sostenibilidad ambiental. Estas propuestas son:

1. **Mantener la situación actual**, en la cual se ha determinado que producto de la potenciación del canal de riego Zapotillo, la agricultura es una de principales actividades del cantón, como fuente directa de generación de empleo; asimismo hay un importe desarrollo del cultivo de maíz en la parte alta del cantón (Paletillas), siendo que la expansión de la frontera agrícola tiene efectos directos en la deforestación del bosque seco, el cual es un activo ambiental para el mundo. Existe una actividad turística incipiente que es aprovechada en los meses de enero y febrero.
2. **Tecnificar la producción agrícola** para mejorar los volúmenes de producción con menor impacto en la frontera agrícola, lo cual permite una generación de más de mil fuentes de empleo, con un impacto positivo en crecimiento económico y negativo en cuanto a la sostenibilidad ambiental.
3. Implementar un **proyecto de energía fotovoltaica** que genere desarrollo en la zona y permita dotar de energía al sistema eléctrico, éste es una alternativa de desarrollo local genera escasas fuentes de empleo pero permite retroalimentar el sistema de energía y se puede constituir en un polo turístico.
4. **Desarrollo ecoturístico binacional**, implementación de un proyecto de aprovechamiento turístico sostenible de la reserva de biosfera, anclada en el florecimiento de los guayacanes, con un desarrollo urbano turístico de localidades fronterizas del bosque seco, generando empleo alrededor de la actividad todo el año.

En base a la descripción de cada una de las alternativas de solución planteadas, evalúe de acuerdo a su criterio, percepción y análisis:

Alternativa	Extremadamente Malo	Muy Malo	Malo	Más o Menos Malo	Moderado	Más o Menos Bueno	Bueno	Muy Bueno	Extremadamente Bueno
Situación Actual									
Tecnificación producción agrícola									
Generación Energía Fotovoltaica									
Ecoturismo									