



Naturaleza, ciudad y comunidad

Experiencias investigativas
en el marco del desarrollo
socioambiental

Jorge Alessandri Romero Novoa, Eddy Camila
Echeverry Puentes, Claudia Yolima Devia Acosta,
Lena Peters, Frank Uhlenhut, Sven Steinigeweg,
Adenike Bettinger, Ralf Habermann, Christian José
Rojas Reina, Laura Daniela Ochoa Noguera,
Laura Catalina Gutiérrez Niño

Naturaleza, ciudad y comunidad

Experiencias investigativas
en el marco del desarrollo
socioambiental

Naturaleza, ciudad y comunidad

Experiencias investigativas en el marco del desarrollo socioambiental

Jorge Alessandri Romero Novoa

Eddy Camila Echeverry Puentes

Claudia Yolima Devia Acosta

Lena Peters

Frank Uhlenhut

Sven Steinigeweg

Adenike Bettinger

Ralf Habermann

Christian José Rojas Reina

Laura Daniela Ochoa Noguera

Laura Catalina Gutiérrez Niño

AUTORES



Romero Novoa, Jorge Alessandri

Naturaleza, ciudad y comunidad: Experiencias investigativas en el marco del desarrollo socioambiental / Jorge Alessandri Romero Novoa, [y otros diez autores]; prólogo de Christian José Rojas Reina - Villavicencio, Universidad Santo Tomás, 2020.

100 páginas (Colección Ingenia).

ISBN: 978-958-782-437-7

E-ISBN: 978-958-782-340-0

1. Ordenamiento territorial. 2. Zonas urbanas. 3. Conservación de los recursos naturales. 4. Ecosistemas. 5. Biogás. 6. Industria energética. 7. Residuos agrícolas. 8. Áreas protegidas. 9. Desarrollo sostenible. I. Rojas Reina, Christian José II. Universidad Santo Tomás (Colombia)

SCDD edición 23
333.7

CO-ViUST



© Universidad Santo Tomás - Sede Villavicencio
Facultad de Ingeniería Ambiental

© Jorge Alessandri Romero Novoa, Eddy Camila Echeverry Puentes,
Claudia Yolima Devia Acosta, Lena Peters, Frank Uhlenhut, Sven Steinigeweg,
Adenike Bettinger, Ralf Habermann, Christian José Rojas Reina,
Laura Daniela Ochoa Noguera, Laura Catalina Gutiérrez Niño, 2020

Colección Ingenia

Ediciones USTA
Carrera 9 n.º 51-11
Bogotá, D. C., Colombia
Teléfono: (+571) 587 8797 ext. 2991
editorial@usantotomas.edu.co
<http://www.ediciones.usta.edu.co>

Universidad Santo Tomás, Sede de Villavicencio
Director Dirección Investigación e Innovación: Jorge Enrique Ramírez Martínez
Coordinación editorial: María Carolina Suárez Sandoval
Corrección de estilo: María Carolina Ochoa G.
Diseño de cubierta: Kilka Diseño Gráfico
Diagramación: Alexandra Romero Cortina
Impresión: DGP Editores S.A.S.

Hecho el depósito que establece la ley

ISBN: 978-958-782-437-7
E-ISBN: 978-958-782-340-0
Primera edición, 2020

Esta obra tiene una versión de acceso abierto disponible en el Repositorio Institucional de la Universidad Santo Tomás: <https://repository.usta.edu.co/>

Universidad Santo Tomás
Vigilada Mineducación
Reconocimiento personería jurídica: Resolución 3645 del 6 de agosto de 1965,
Minjusticia Acreditación Institucional de Alta Calidad Multicampus:
Resolución 01456 del 29 de enero de 2016, 6 años, Mineducación

*Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra, por cualquier medio,
sin la autorización previa por escrito del titular de los derechos.*

Impreso en Colombia • Printed in Colombia

Contenido

PRÓLOGO	13
<i>Christian José Rojas Reina</i>	

INTRODUCCIÓN	15
--------------	----

PARTE I	
ANÁLISIS TERRITORIAL DE LAS DINÁMICAS SOCIOAMBIENTALES PROPICIADAS POR LA ARTICULACIÓN TURÍSTICA ENTRE LOS MUNICIPIOS DE VILLAVICENCIO Y RESTREPO (DEPARTAMENTO DE META), DURANTE EL PERIODO 2000-2018.	17
<i>Jorge Alessandri Romero Novoa</i>	
<i>Eddy Camila Echeverry Puentes</i>	

PARTE II	
VILLAVICENCIO: NATURALEZA, CIUDAD Y EXTRACTIVISMO EN LA ORINOQUIA, SIGLO XXI.	39
<i>Claudia Yolima Devia Acosta</i>	

PARTE III	
FLEXIBILISATION CONCEPTS FOR BIOGAS PLANTS TO BALANCE ENERGY SUPPLY AND ENERGY DEMAND IN GERMANY.	53
<i>Lena Peters</i>	
<i>Frank Uhlenhut</i>	
<i>Sven Steinigeweg</i>	

PARTE IV	
SANITARY SOLUTIONS IN NATURAL PARKS AND RECREATION ZONES	67
<i>Adenike Bettinger</i>	
<i>Ralf Habermann</i>	
PARTE V	
USE OF AGRICULTURAL RESIDUES FOR A SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN META REGION: RICE HUSK AS BIOGAS SOURCE	79
<i>Christian José Rojas Reina</i>	
<i>Laura Daniela Ochoa Noguera</i>	
<i>Laura Catalina Gutiérrez Niño</i>	
EPÍLOGO	95
<i>Jorge Alessandri Romero Novoa</i>	

Índice de figuras

Figura 1.1. Seguimiento de información bibliográfica	23
Figura 1.2. Análisis de información bibliográfica	24
Figura 1.3. Principales hitos y rupturas sucedidos entre 2000 y 2018	27
Figura 1.4. Multitemporalidad (disponible) del área de articulación entre Villavicencio y Restrepo 2000-2018	28
Figura 1.5. Lugares en donde se identificaron cambios importantes	29
Figura 1.6. Área de estudio delimitada	29
Figura 1.7. Cartografía temática de cobertura del suelo	31
Figura 1.8. Cartografía temática de área construida	35
Figura 2.1. Primacía urbana por número de habitantes en principales ciudades de Colombia y del departamento de Meta	44
Figura 2.2. Crecimiento demográfico en Villavicencio, 1973-2018	45
Figura 2.3. Ejes inductores de la urbanización (parte 1)	46
Figura 2.4. Ejes inductores de la urbanización (parte 2)	48
Figura 3.1. Typical agricultural biogas plant	55
Figura 3.2. Steps of anaerobic digestion	56
Figura 3.3. Flexibilisation concepts for biogas plants	58

Figura 3.4. Illustration of different modes of chp operations for biogas plants	60
Figura 3.5. Biogas plant in La Manuelita Factory, San Carlos de Guaroa, Meta department, Colombia	62
Figura 4.1. Principle of the shielding process of particles	71
Figura 4.2. (A) View from the protected reserve Buenavista through Villavicencio city. (B) Route through the Vereda El Carmen from Villavicencio	73
Figura 5.1. National production of residual biomass generated by the rice industry in Colombia	85
Figura 5.2. Aspect of the batch-reactors before the final disposition in the incubator at 37 °C	87
Figura 5.3. Daily production curves (A) and accumulated production curves (B) for the substrate pig manure (third setup: 200 ml manure)	90
Figura 5.4. Daily production curves (A) and accumulated production curves (B) for the substrate rice husk (third setup: 2.5 g rice husk)	91

Índice de tablas

Tabla 1.1. Variación de predios entre 2010 y 2018	33
Tabla 5.1. Average chemical composition of rice husk	86
Tabla 5.2. Description of the experimental design using batch reactor following the astm 2720 B	86
Table 5.3. Composition of the rice husk as the total solids content of the substrate	89

Prólogo

Entre las investigaciones realizadas en el Grupo de Investigación Gestión Ambiental USTA Villavicencio – GAUV, de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la USTA Colombia, se han realizado esfuerzos por incentivar la investigación en el área de ordenamiento territorial. Esta área del conocimiento es importante para la conservación de los ecosistemas naturales del departamento de Meta, algunos de los cuales se encuentran en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas. Sin embargo, el constante crecimiento que ha experimentado la región en los últimos dos decenios, como consecuencia de actividades antrópicas: agroindustria, turismo e industria petrolera, ha incrementado la necesidad de investigación de sus consecuencias y maneras de mitigarlas.

Una de las primeras iniciativas investigativas del grupo GAUV en esta área es la realizada por el Grupo de Estudio en Territorio, Ambiente y Región – GESTAR, coordinado por el ingeniero Jorge Alessandri Romero Novoa, que a través del proyecto de investigación titulado “Análisis territorial de las dinámicas socioambientales propiciadas por la articulación turística del municipio de Villavicencio y Restrepo, en el periodo 2000-2018”, presenta un primer análisis de estas consecuencias en la región desde el punto de vista geográfico-ambiental. Esto, aunado al análisis del efecto del extractivismo

en la Orinoquia por parte de la investigadora invitada Dra. Claudia Yolima Devia Acosta, proporciona una primera visión de la transformación de la ciudad producto de las actividades extractivas.

Así mismo, entre las actividades para la conservación de las áreas naturales un ejercicio investigativo relevante es el desarrollado por el proyecto de investigación titulado “Determinación del potencial de biogás de diferentes sustratos para la codigestión anaerobia con excretas animales”. Esta investigación busca potenciar el uso de residuos de las actividades agrícolas como fuente de energía renovable, así como mitigar la contaminación de estos residuos en las zonas naturales de la región; los primeros resultados se presentan al considerar la cascarilla de arroz como una fuente alternativa para la producción de biogás. En este orden de ideas, se presentan las investigaciones de las investigadoras invitadas: Lena Peters y Adenike Bettinger, de la Universidad de Ciencias Aplicadas Emden-Leer, Baja Sajonia (Alemania), una región que al igual que Meta cuenta con gran actividad agrícola y gran cantidad de áreas naturales protegidas.

Las investigaciones presentadas son un aporte a las soluciones aplicables regionalmente con una perspectiva internacional. Se muestra el uso flexible del biogás a partir de residuos agrícolas y la implementación de sistemas sanitarios autosostenibles en parques naturales.

CHRISTIAN JOSÉ ROJAS REINA, PH. D.

Doctor en Ingeniería Ambiental
Coordinador de Investigación
Facultad de Ingeniería Ambiental
Universidad Santo Tomás, Villavicencio

Introducción

El departamento de Meta, en los últimos decenios, ha experimentado una serie de cambios económicos que han propiciado dinámicas socioambientales en sus territorios. Al ser un departamento enmarcado en la región de la Orinoquia, estos cambios pueden amenazar su biodiversidad. En las primeras partes del presente libro (I y II), se analizan los efectos que han tenido lugar en el departamento a raíz de estos cambios económicos y sociales desde el punto de vista de la alteración de las dinámicas sociales, especialmente en el área de influencia de la ciudad de Villavicencio; ciudad capital que soporta, como puerta de entrada, dinámicas propias y otras que llegan del interior del país, las cuales se expresan en su territorio a través de procesos consecuentes con las economías extractivas, de conurbación, de transformación del ámbito rural y de poblamiento en zonas de frontera urbano-rural.

Este crecimiento urbano tiene consecuencias ambientales en las áreas naturales protegidas de la región, por lo que se exponen soluciones prácticas (Partes III al V) para mitigar el impacto de estas actividades antrópicas y mitigar su degradación.

Debido al cambio territorial dentro de las principales zonas urbanas de Meta, se ha producido una mayor presión sobre las áreas naturales que rodean los municipios de Villavicencio y Restrepo, especialmente,

a través de la visita de turistas, la ocupación del suelo rural con actividades de tipo urbano (o con comportamiento) y las descargas de residuos sanitarios que estos producen. Considerando la experiencia de Alemania en esta problemática, se expone en la construcción de sistemas sanitarios portátiles para zonas protegidas para su posible implementación en el contexto actual de la región.

Como región agrícola por excelencia y debido a la mejor conexión con la capital desde el siglo XIX y fortalecida en la primera mitad siglo XX, el departamento de Meta ha incrementado su producción agroindustrial con su consecuente cantidad de desechos. Una propuesta de solución para mitigar el manejo de estos residuos, y al mismo tiempo crear un desarrollo más sostenible, es por medio de su utilización en la generación de energía. Se presenta un análisis de esta problemática desde el punto de vista de Alemania y su posible aplicación para plantas de biogás industriales en el caso colombiano.

En este contexto, uno de los desechos de mayor producción en Meta es la cascarilla de arroz proveniente del cultivo de arroz. Este residuo, que generalmente es incinerado y que aumenta los efectos del cambio climático, pudiera ser usado en los biodigestores rurales operados con excretas porcinas como cosustrato, a fin de disminuir el impacto del residuo y de contribuir con la sostenibilidad de la producción agrícola con una energía alterativa como el biogás. Para ello, finalmente, se presentan los primeros resultados experimentales realizados para analizar la factibilidad de ser usado como cosustrato en los biodigestores rurales de la región.

Análisis territorial de las dinámicas socioambientales propiciadas por la articulación turística entre los municipios de Villavicencio y Restrepo (departamento de Meta), durante el periodo 2000-2018

JORGE ALESSANDRI ROMERO NOVOA*

EDDY CAMILA ECHEVERRY PUENTES**

1. Introducción

La presentación recoge elementos fundamentales del ejercicio investigativo desarrollado por el Grupo de Estudio en Territorio, Ambiente y Región (GESTAR), con el que se pretende realizar un análisis territorial de las dinámicas socioambientales propiciadas por la articulación turística entre los municipios Villavicencio y Restrepo (departamento de Meta), durante el periodo 2000-2018, a partir de elementos conceptuales tomados desde la geografía urbana, la antropología y la sociología urbana, la planeación ambiental y la ecología. Este ejercicio está

* Ingeniero catastral y geodesta, y especialista en Gerencia de Recursos Naturales de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia). Especialización en Ecología y Medio Ambiente de la Corporación Universitaria del Meta (Colombia). Magíster en Geografía de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Candidato a doctor en Estudios Territoriales de la Universidad de Caldas (Colombia).

** Ingeniera ambiental de la Universidad Santo Tomás, Villavicencio (Colombia). Maestrante en Gestión de Cuencas Hídricas de la Universidad Santo Tomás (Colombia).

enmarcado en el núcleo problémico de Ordenamiento Ambiental del Territorio, y se realizará en tres momentos: en el **primero**, identificando los elementos socioambientales y económicos sobre los cuales se relacionan los municipios Villavicencio y Restrepo, en los últimos dieciocho años; en el **segundo**, analizando las transformaciones urbano-rurales propiciadas por la aparición de la actividad turística entre los municipios de Villavicencio y Restrepo; en el **tercero**, evaluando los cambios territoriales producidos por la relación socioambiental generada entre los municipios de Villavicencio y Restrepo. Todo lo anterior se realiza en un periodo de seis meses mediante el uso de información secundaria, trabajo en campo, análisis cartográfico y geográfico. De tal manera, se fortalece la sublínea de investigación en Desarrollo Sostenible y el currículo a través de experiencias vinculadas con el núcleo problémico de Planeación Ambiental-Ordenamiento Ambiental del Territorio; un área de trabajo de la Ingeniería Ambiental que, a la fecha, ha sido poco explorada en la Universidad Santo Tomás (USTA), sede Villavicencio.

2. Dinámicas ciudad-naturaleza

El ejercicio aquí presentado hace referencia a los resultados preliminares y al proceso de investigación desarrollado por el Grupo de Estudio Territorio, Ambiente y Región (GESTAR), de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio, en el marco de la VII Convocatoria de Investigación realizada por la Unidad de Investigación en enero de 2019. El trabajo realizado responde a los elementos teórico-prácticos que se abordan desde el área de conocimiento de Planeación Ambiental y su núcleo problémico en Ordenamiento Ambiental del Territorio, en los que se articula el ambiente y el territorio con especial énfasis en elementos humanos (actores involucrados) y no humanos (vías), todos referenciados a las dinámicas de la ciudad de Villavicencio y Restrepo asociadas al turismo desde el año 2000.

Siguiendo el argumento de H. Lefebvre (1974), los proyectos de ciudad buscan mejorar las condiciones de vida de los pobladores, cualificar y producir nuevos espacios urbanos, y favorecer la economía local mediante un conjunto de actividades que, como señala Harvey (2009), tienen “el poder para organizar el espacio [urbano] deriva[do]

de todo un complejo de fuerzas movilizadas por diversos agentes sociales”; de tal manera que el nuevo orden espacial y territorial propicia diferentes fenómenos sociales, económicos y ambientales en cada proceso de evolución urbano-rural de los territorios.

La disposición de áreas urbanas dispersas a lo largo de un corredor vial configura territorios reticulares, como suele llamarlos Jérôme Monnet (2013), pues responden al carácter “fluido y borroso” de los lugares que rodean la ciudad principal, al estar relacionados mediante redes, espacios de borde y transformaciones culturales que vienen evolucionando a través del uso y la contracción del tiempo en la periferia, dinamizando las relaciones socioeconómicas entre las áreas urbanas. Las vías se convierten en emblemas de desarrollo y símbolos políticos de poder en diferentes escalas de la ciudad, con los cuales se crean vínculos, se definen roles, se establecen funciones, se formulan proyectos y se trazan marcas en el territorio¹ que representan fenómenos particulares de transformación. Empero, la transformación económica que cada una de estas produce se refleja en dinámicas socioambientales de las actividades emergentes.

Actualmente, actividades económicas como el turismo han encontrado un escenario adecuado en la distribución de áreas urbanas sobre corredores viales con movilidad y acceso al entorno rural. La ciudad central, la vía que articula y las áreas urbanas configuran una red funcional que entremezcla ruralidad, paisaje y cultura, a la cual se le suman fenómenos (cada vez más frecuentes) como la contraurbanización y la rururbanización. El primero, definido como el movimiento de personas y actividades desde las ciudades, o áreas urbanas, hacia

1 En este proyecto se entenderá, de acuerdo con lo señalado por De San Eugenio (2013), cómo aquellos matices relacionados con límites territoriales o connotaciones socioculturales se expresan de manera tangible o intangible, o con significados geográficos que incorporan algún tipo de incidencia territorial de naturaleza esencialmente espacial. El profesor Abilio Vergara (2018) reconoce en las marcas territoriales información socioterritorial que se expresa socioespacialmente y que se registra en la ciudad con diversos significantes y, muchas veces, con un mismo significado: el *habitus* urbano, adaptado de uno de los conceptos básicos de Pierre Bourdieu (1991) en la teoría social, en donde los sujetos ocupan un lugar e incorporan (o interiorizan) una imagen objetiva y la expresan a partir de prácticas diferentes.

las zonas rurales y periurbanas (Sánchez, 2009), lo que genera a su vez diversos fenómenos económicos, sociales y ambientales mediados por nuevos comportamientos territoriales en estas áreas. Y el segundo, definido como un proceso urbano en suelo rural, que responde a la materialización de ideas políticas o aspiraciones de algunos grupos (élites con capital económico, capital cultural y capital escolar) con intereses particulares en la transformación del paisaje y de la ciudad. Nates-Cruz (2008) la entiende como un proceso que fortalece la réplica de (algunas) actividades urbanas en suelo rural.

Esto implica, entonces, la transformación paulatina de las dinámicas económicas, sociales y ambientales del territorio que esté pasando por este proceso (como ya se mencionó antes), así como la transformación del paisaje rural generada por la nueva demanda de bienes y servicios naturales y culturales que requiere el turismo. Se producen nuevas expresiones sociales que provocan transformaciones en las actividades tradicionales e incluso pérdida de los hábitos y las culturas locales (Hoyos, 2009). Se evidencia un desplazamiento de la actividad agrícola y productiva por la aparición de la prestación de servicios de ocio y recreación, residencias vacacionales y demás actividades típicas de las zonas urbanas, pero con la diferencia de que en este caso son dispuestas sobre las vías y zonas rurales.

En el departamento de Meta este fenómeno se ha dado de forma continua en la ciudad capital y sus municipios más cercanos, para este caso Restrepo, como consecuencia del aumento que ha significado la actividad turística en la región, específicamente desde la segunda mitad de la década del dos mil. Además, la articulación de Villavicencio con el municipio de Restrepo une la modernidad y el progreso que llegan del interior del país por la vía al Llano y se dirigen al “Llano adentro” que existe en el imaginario nacional como “la periferia” (y con el resto del país) (Romero, 2018). Es una relación entre los regímenes de desarrollo agenciados por la vía al Llano y el proceso de configuración territorial de la ciudad de Villavicencio (entre 1934 y 2018); fenómeno que propicia diversas problemáticas sociales y ambientales, cuyas modificaciones se implantan en el entorno rural de Villavicencio hacia los llanos, transformando áreas no urbanas en áreas suburbanas y periurbanas, mediante la ocupación discontinua y fragmentada por

diferentes poblaciones que dejaron de ser de paso para realizar acciones de propiedad territorial (Monnet, 2013).

Con base en la problemática descrita, surge la pregunta de investigación que da el punto de partida: ¿cuál ha sido la transformación territorial de las dinámicas socioambientales propiciadas por la articulación turística entre los municipios Villavicencio y Restrepo durante el periodo 2000-2018? Para lograrlo, se propone como objetivo realizar el análisis territorial de las dinámicas socioambientales propiciadas por la articulación turística entre los municipios Villavicencio y Restrepo durante el periodo 2000-2018.

El trabajo que se encuentra en desarrollo por parte de GESTAR pretende así dar a conocer las particularidades de los territorios analizados mediante el uso de algunos conceptos referenciales, métodos alternados y técnicas de trabajo. Esto permite acceder a la articulación asumida entre Villavicencio y Restrepo en torno a la actividad turística en tres momentos. En el **primero**, identificando los elementos socioambientales y económicos sobre los cuales se relacionan los municipios de Villavicencio y Restrepo, en los últimos dieciocho años; esto, a través de la construcción de una base de datos en la que se registren los principales vínculos ecológicos y económicos que tienen los municipios, producto de trabajo de campo (observación del entorno), la revisión documental y cartográfica; con algunas entrevistas o encuestas y ejercicios de cartografía social, relacionados con la presencia de áreas protegidas, reservas forestales, recursos hídricos, infraestructura vial determinante, equipamientos urbanos y oferta turística intermunicipal. En el **segundo**, analizando las transformaciones urbano-rurales propiciadas por la aparición de la actividad turística entre los municipios de Villavicencio y Restrepo, mediante el uso de técnicas de fotointerpretación, análisis espacial (multitemporal) y análisis estadístico de los datos sistematizados antes. Finalmente, en el **tercero**, evaluando los cambios territoriales producidos por la relación socioambiental generada entre los municipios de Villavicencio y Restrepo; aquí, se utilizarán los resultados anteriores a través de un mapa temático, multiescalar, que permita zonificar los principales cambios en el territorio, y así la elaboración de un análisis geográfico con el cual se concreticen las relaciones, articulaciones o dinámicas suscitadas entre Villavicencio y Restrepo.

2.1. Síntesis presentación. Características generales, avances y resultados

Así las cosas, los *resultados preliminares* del primer momento de la investigación, producto de una rigurosa revisión bibliográfica, incluyeron un total de 72 documentos publicados entre 1990 y 2016, de los cuales 68 % correspondía a títulos nacionales y 32 %, a internacionales (Figura 1.1). Esta revisión permitió identificar los principales eventos que rodean la pregunta formulada, a través del análisis por medio del **Diagrama de Ishikawa** o **Diagrama de Causa Efecto**, la **Matriz de Vester** y, finalmente, su jerarquización gráfica (Figura 1.2).

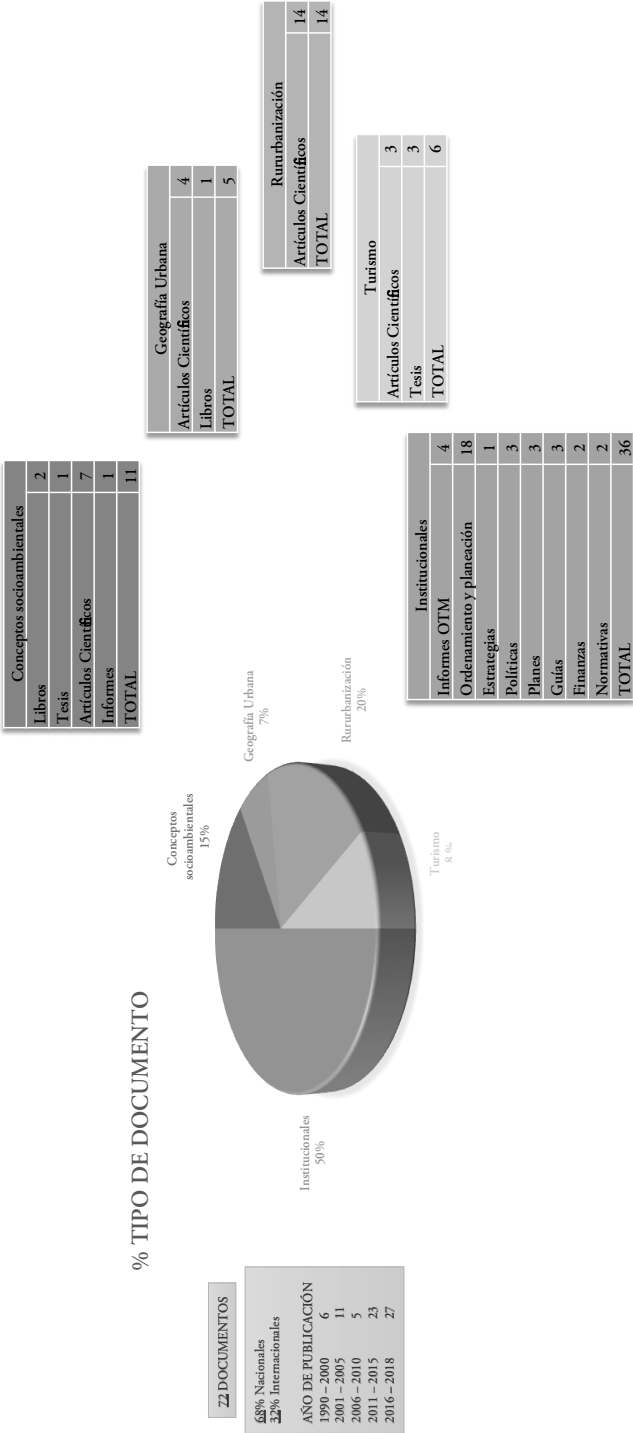
A través del análisis matricial y el seguimiento infográfico de los problemas definidos como críticos y activos², se rastrearon y obtuvieron los (principales) hitos y rupturas relacionados con la actividad turística en Villavicencio y Restrepo (Figura 1.3); con ello, se rastrearon archivos de información bibliográfica y cartográfica que arrojaron como referentes los años 2001, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2018, y en los cuales se ubicaron los cambios sucedidos desde el año 2010. Se realizó el procesamiento de las imágenes satelitales correspondientes a los años señalados mediante el uso de ArcGIS 10.5 y un análisis multi-temporal (preliminar) en torno a cambios en cobertura vegetal, áreas construidas, cambios en cantidad de predios y en la infraestructura vial, principalmente; esto permitió reconocer varios cambios asociados a dinámicas socioambientales³ que se desarrollan por la articulación entre estos municipios (ver Figura 1.4).

2 Críticos: cambios de uso y destino económico, loteo y desenglobe, contraurbanización, predialización, suburbanización, aumento tránsito y cambio manejo de RN; y activos: mercado inmobiliario y rururbanización.

3 Aquí entendidas como aquel resultado del alcance que han tenido los procesos sociales en lo ambiental y de la relación de las comunidades con su entorno (Espinosa, 2015). Y como señalan Orellana (1999) y Walter (2009), son aquellos procesos que giran en torno al uso de los recursos naturales mediante proyectos humanos y, a su vez, la relación (afectación) que tienen con las comunidades.

Figura 1.1. Seguimiento de información bibliográfica

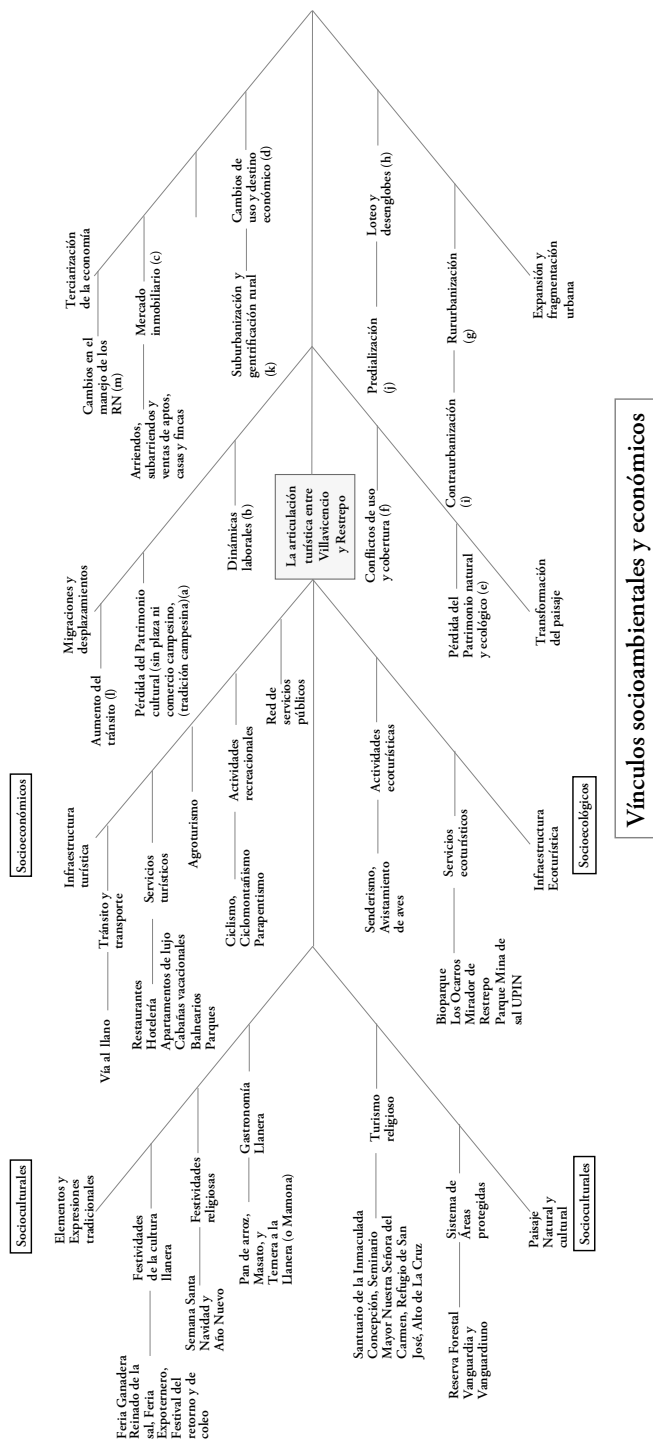
SEGUIMIENTO DE INFORMACION BIBLIOGRAFICA



Fuente: elaboración propia.

Figura 1.2. Análisis de información bibliográfica

ANÁLISIS DE INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA



ANÁLISIS DE INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA

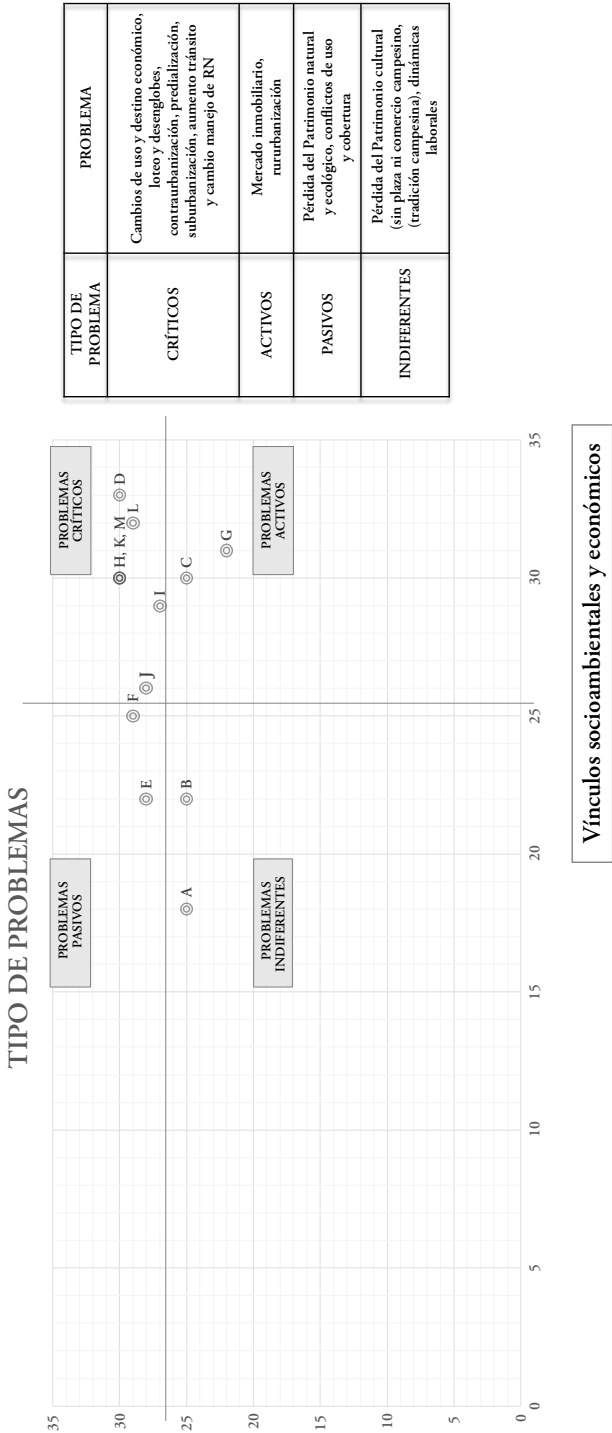
x	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	Total
a	x	2	1	2	1	2	2	1	1	1	2	1	2	18
b	2	x	1	1	2	2	1	3	2	1	2	3	2	22
c	2	1	x	2	3	3	2	3	3	2	3	3	3	30
d	3	2	3	x	3	3	2	3	3	3	3	2	3	33
e	1	2	2	3	x	2	1	2	1	2	2	1	3	22
f	2	3	1	2	3	x	1	2	2	2	2	2	3	25
g	3	3	2	3	2	3	x	3	2	2	3	3	2	31
h	2	2	2	3	3	2	2	x	3	3	3	2	3	30
i	3	2	3	2	2	3	1	3	x	3	2	3	2	29
j	1	1	2	3	3	2	2	2	2	x	2	3	3	26
k	3	2	3	3	1	2	3	3	2	3	x	3	2	30
l	2	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	x	2	32
m	1	2	2	3	3	3	2	2	3	3	3	3	x	30
Total	25	25	25	30	28	29	22	30	27	28	30	29	30	x

ACTIVOS

PASIVOS

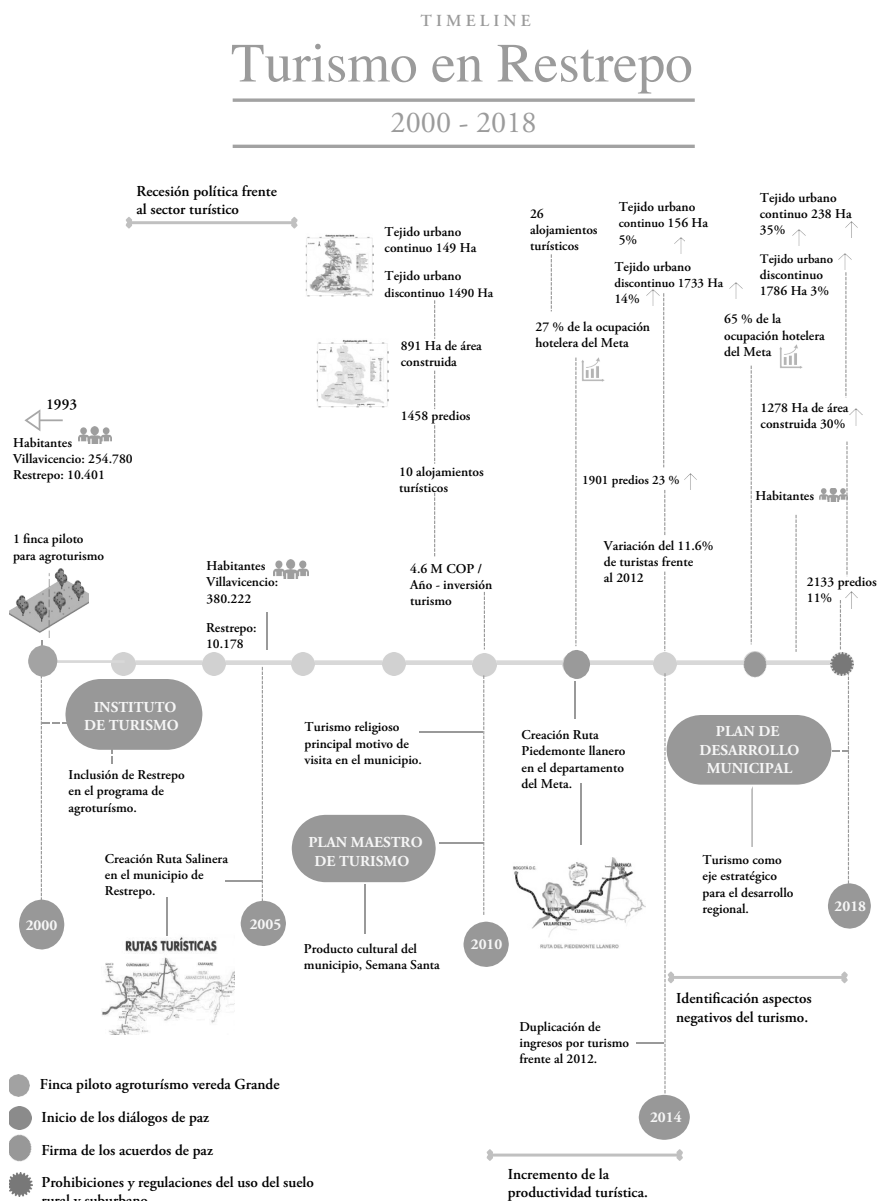
Vínculos socioambientales y económicos

ANÁLISIS DE INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA



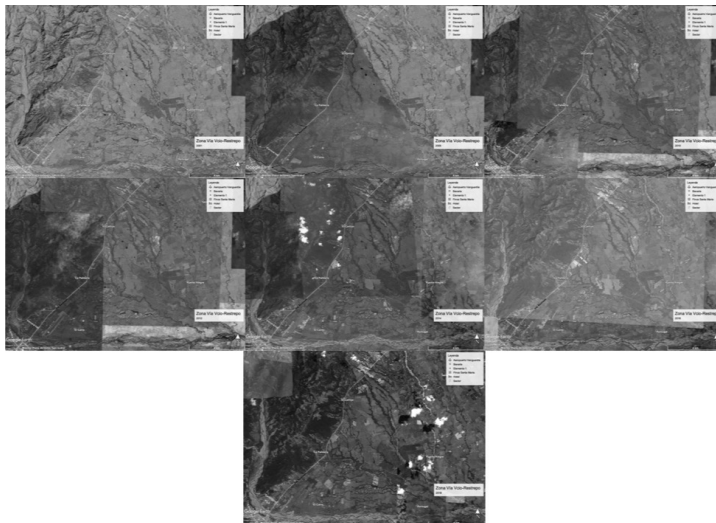
Fuente: elaboración propia.

Figura 1.3. Principales hitos y rupturas sucedidos entre 2000 y 2018



Fuente: elaboración propia.

Figura 1.4. Multitemporalidad (disponible) del área de articulación entre Villavicencio y Restrepo 2000-2018

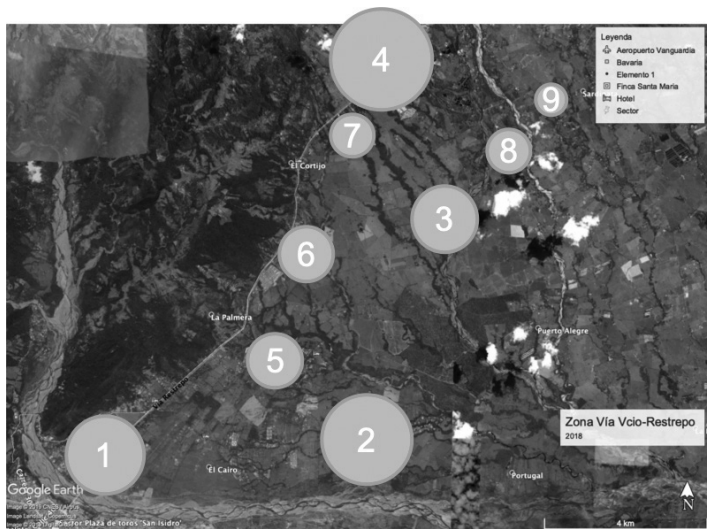


Fuente: imágenes tomadas de Google Earth Pro (consultado 11 de abril 2019).

Esto proporcionó la línea base para definir, en primer lugar, la unidad espacial de análisis; esta recoge los lugares en donde se identificaron crecimientos y aumento de áreas construidas, fragmentación del área urbana de Restrepo, aumento en el loteo (número y geometría de predios) del suelo rural, disminución y fragmentación de la cobertura vegetal, principalmente (Figura 1.5).

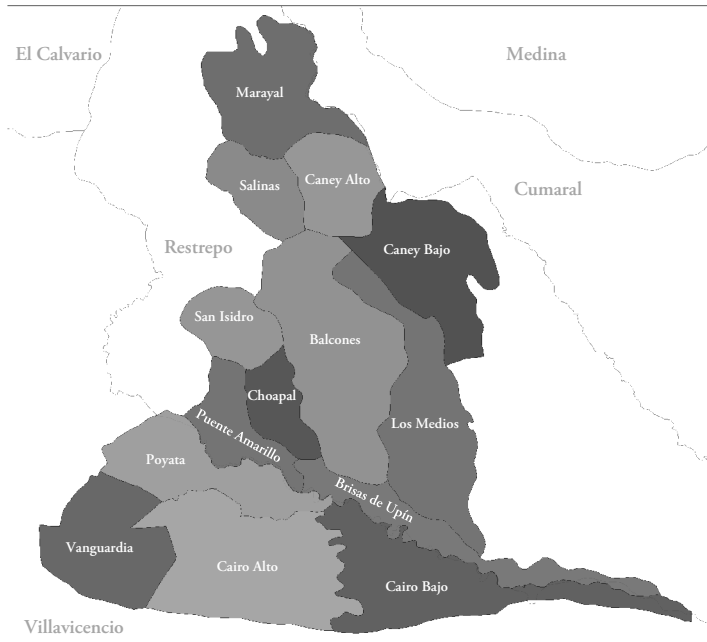
Esta unidad espacial está soportada en catorce veredas, de las cuales cuatro pertenecen al municipio de Villavicencio (Vanguardia, Poyata, Cairo Alto y Cairo Bajo) y diez son del municipio de Restrepo (Puente Amarillo, Choapal, Balcones, San Isidro, Brisas de Upín, Salinas, Caney Alto, Los Medios, Caney Bajo y Marayal) (Figura 1.6). Se permite asumir como unidad mínima de análisis la vereda y enfocar el desarrollo de la investigación.

Figura 1.5. Lugares en donde se identificaron cambios importantes



Fuente: elaboración propia.

Figura 1.6. Área de estudio delimitada



Fuente: elaboración propia.

Y en segundo lugar, se definió la unidad temporal de estudio, la cual corresponde a los años 2001, 2005, 2010, 2014 y 2018. Finalmente, se pudieron precisar las variables objeto de análisis en cada uno de los momentos del ejercicio investigativo, definidas como: área construida, predialización (loteo), cobertura vegetal, infraestructura vial y migraciones y desplazamiento humano.

Al integrar lo anterior con los elementos socioeconómicos identificados en la información bibliográfica, se precisó el conjunto de sucesos y dinámicas territoriales que se pretenden analizar en la continuación y desarrollo del proyecto, como cambios de usos y destino económico del suelo, aumento en el loteo y desenglobes, fenómenos de contraurbanización, aumentos de tránsito y flujos vehiculares, y cambio en el manejo de los recursos naturales, aumento del mercado inmobiliario y presencia de fenómenos de rururbanización. Información que es expuesta como base metodológica del proyecto y que se usará para la ejecución del análisis territorial multitemporal y multiescalar que es objetivo final de la investigación.

3. Algunas dinámicas identificadas

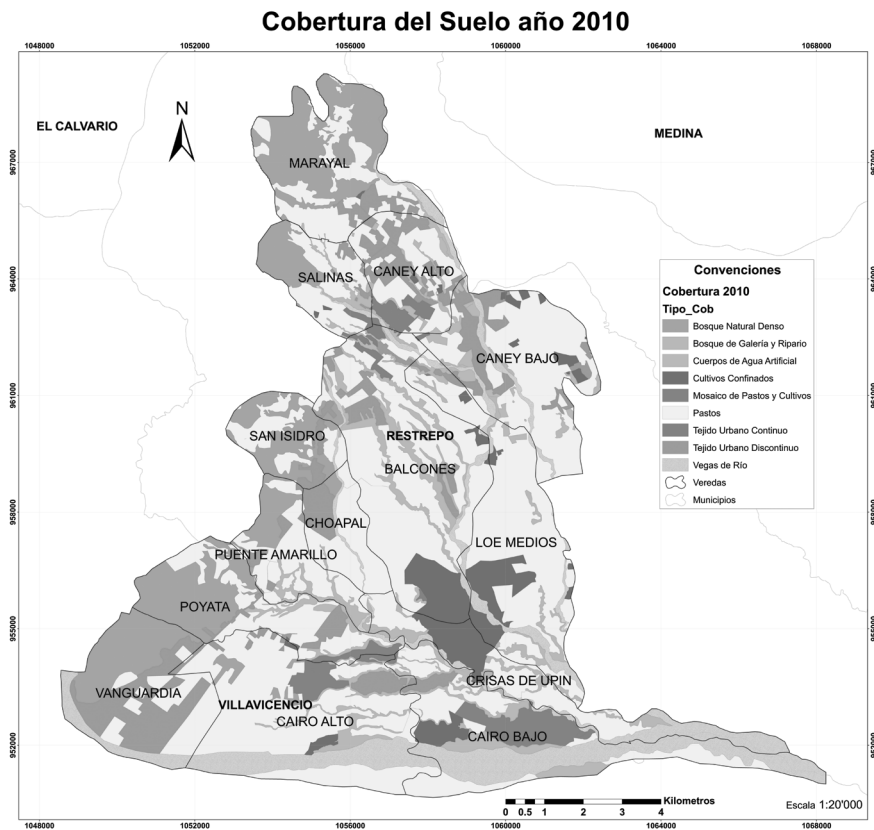
En ese sentido, el procesamiento cartográfico que se presenta se basó esencialmente en las variables señaladas como objeto de análisis y permitió elaborar como resultado preliminar la multitemporalidad para: el área construida, la predialización (loteo) y la cobertura vegetal, entre los años 2010 y 2018, debido a la disponibilidad de información obtenida (hasta ahora).

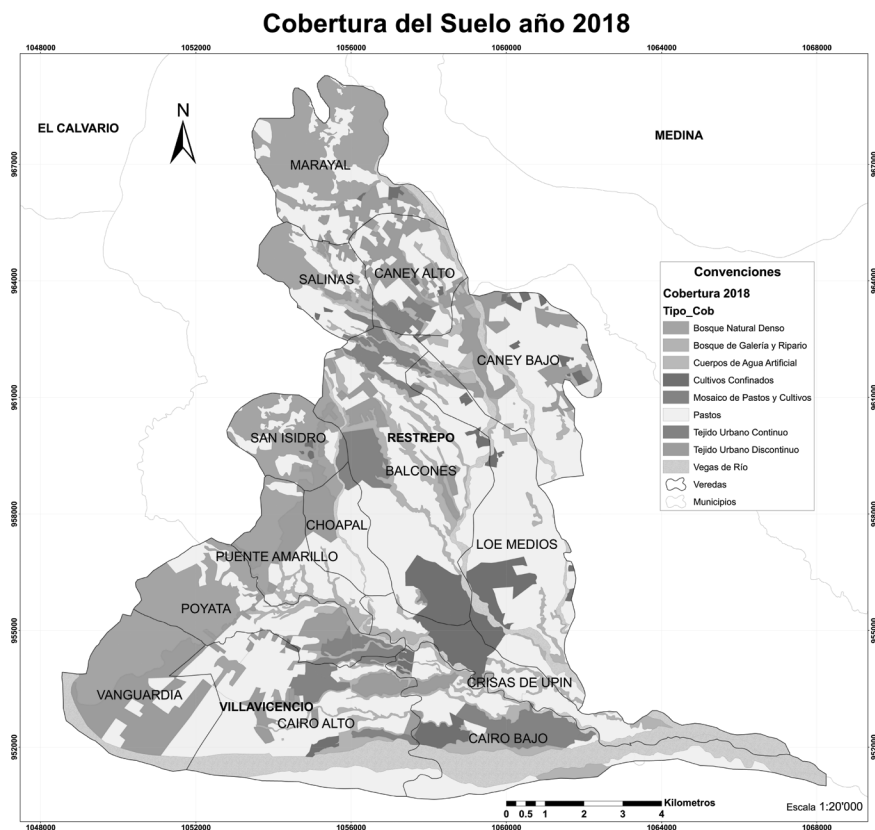
3.1. Cobertura vegetal

En la Figura 1.7 se encuentra, de manera gráfica, la clasificación de la cobertura vegetal en el área de estudio en los años 2010 y 2018, y es posible comparar cómo esta ha variado en el transcurso de este periodo. Aunque no parece tener una transformación significativa, de forma más específica se pueden señalar cambios en la estructura ambiental tales como la disminución en el bosque de galería y ripario que alcanzan

las 16.17 ha; o en el bosque natural denso con cifras de decrecimiento de hasta 227.27 ha; o en torno a los cuerpos de agua superficial, disminuciones que sobrepasan las 14 ha. Una situación que valdrá la pena analizar en el trabajo de campo proyectado para la investigación. Todas estas situaciones son producto de las dinámicas socioeconómicas que se desarrollan en el territorio que, aunque aún no se vinculan específicamente con la actividad turística, sí pueden ser propiciadas de manera indirecta por esta. Efecto contrario al que se esperaría en el territorio cuando se promueve el turismo sostenible y el agroturismo.

Figura 1.7. Cartografía temática de cobertura del suelo





Fuente: elaboración propia.

3.2. Predialización (loteo)

En lo que se refiere a la predialización en el área de estudio, se encuentra en todos los casos un aumento significativo en el número de lotes o predios de la zona, especialmente en las veredas Balcones, Vanguardia, Caney Alto y Choapal (Tabla 1.1), fenómeno que genera un alto interés teniendo en cuenta que Restrepo no ha incrementado de manera significativa su población (Concejo Municipal de Restrepo, 2016). Tal comportamiento está estrechamente relacionado con fenómenos espaciales como la rururbanización, puesto que el espacio rururbano se concibe como “un área de creciente expansión y superposición de elementos urbanos y rurales” (Nates-Cruz, 2008), y la dinámica de

subdivisión de predios y lotes en estas cuatro veredas, que corresponden esencialmente a espacio rural, implica la oferta de bienes y servicios característicos del área urbana entremezclados con actividades o características paisajísticas propias del ambiente rural, propiciando así la creación de conflictos no solo de carácter socioeconómico (ligado a la tradición, el patrimonio cultural y la idiosincrasia), sino además de tipo socioambiental de alto impacto (Tabla 1.1).

Tabla 1.1. Variación de predios entre 2010 y 2018

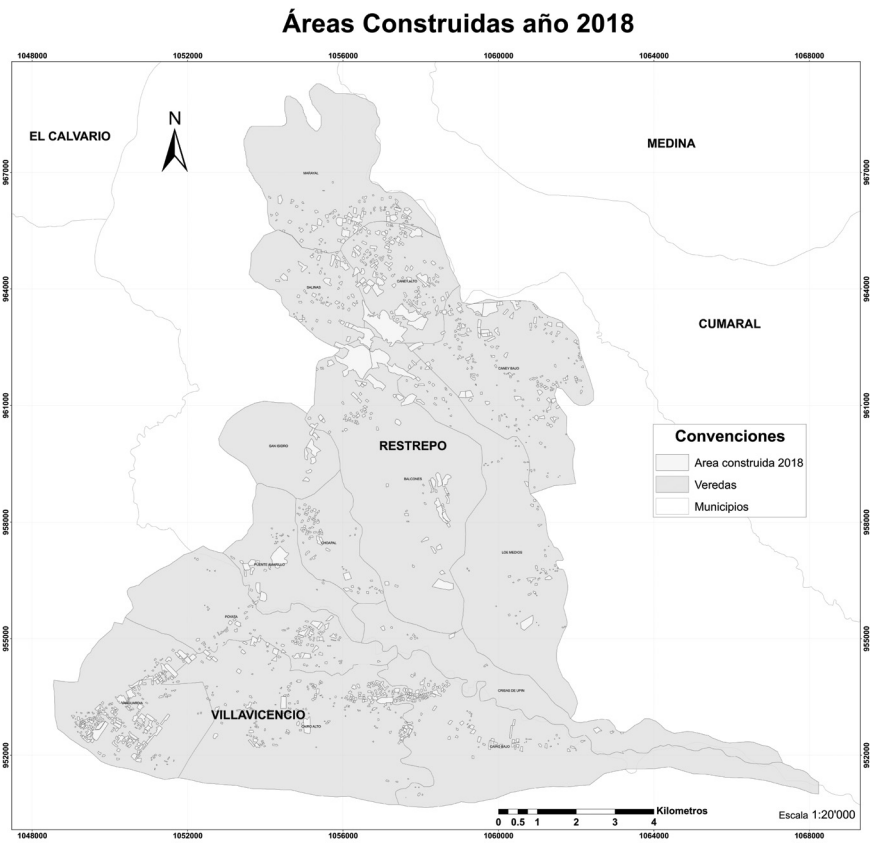
Veredas	Número de Predios 2018	Número de Predios 2010
Balcones	353	164
Brisas de Upín	28	26
Cairo alto	165	153
Cairo bajo	73	74
Caney alto	343	234
Caney bajo	227	193
Choapal	170	40
Los medios	110	94
Marayal	219	174
Puente amarillo	26	25
Poyata	70	60
Salinas	183	147
San Isidro	4	4
Vanguardia	162	70
Total	1971	1388

Fuente: elaboración propia.

3.3. Área construida

En lo que atañe al área construida en el área de estudio, se logró identificar que esta se encuentra fragmentada y cada vez más dispersa (Figura 1.8); se evidencian tres comportamientos relevantes: en primer lugar, en la vereda Balcones el área del año 2010 correspondía a 157.34 ha, mientras que en el año 2018 alcanzó las 318.27 ha, un incremento aparente del 102.3 %; este comportamiento sería la representación del fenómeno de periurbanización teniendo en cuenta su vecindad con el área urbana del municipio. En segundo lugar, se encuentra la contraurbanización identificada en la vereda Vanguardia (que aparentemente se mantiene igual en el lapso de ocho años) con algunos incrementos en zonas de bosque ripario y de galería, dispersión de construcciones tipo cabaña y aparición de caminos, comportamiento que puede fomentarse por la presencia de proyectos del capital privado y que desafía, hasta cierto punto, las restricciones relacionadas con el área protegida de esta vereda y sus zonas aledañas. Finalmente, se encuentran algunos indicios de fenómenos asociados con la rururbanización en la vereda Cairo Bajo, donde se alcanzó un total de área construida de 99.98 ha en el año 2018, después de contar con apenas 44.27 ha en 2010.

Figura 1.8. Cartografía temática de área construida



Fuente: elaboración propia.

4. Conclusiones

Estos resultados generan alto interés porque no solo representan fenómenos espaciales reconocidos en territorios con similar relevancia turística, sino que además concuerdan con la aparición y evolución de actividades terciarias asociadas con migraciones y transformaciones del territorio en el municipio⁴ y que se evidencian tanto en la revisión bibliográfica como en el análisis multitemporal hasta ahora realizado; esto significa que se encuentran estrechamente relacionados y que además uno puede ser producto del otro, generando dinámicas socioeconómicas y conflictos socioambientales percibidos como dinámicas que transforman aceleradamente los ecosistemas y reconfiguran el territorio. Debido a esto, se debe considerar la continuación de la investigación para que estos resultados sean más precisos, de manera tal que se pueda determinar específicamente cuáles son esos vínculos que propician estas dinámicas y cómo dimensionarlas. Esto plantea realizar una **matriz diagnóstico** de los principales vínculos ecológicos y económicos entre Villavicencio y Restrepo, construir un **mapa dinámico** con los principales cambios urbano-rurales asociados a la actividad turística, definir la zonificación que contenga los principales cambios territoriales identificados y escenarios posibles, y finalmente elaborar un análisis geográfico con el cual se concreticen las relaciones, articulaciones o dinámicas suscitadas entre Villavicencio y Restrepo.

4 Aunque existen **múltiples acepciones** que lo transitan entre el suelo y el espacio geográfico, aquí se entenderá como aquel escenario dinámico y complejo que es producido mediante múltiples acciones y procesos de **apropiación y representación social** a lo largo del tiempo (Montañez y Delgado, 1998). Es una **significación cultural** con variadas implicaciones a nivel social (Nates-Cruz, 2011) y es una **práctica social** (Sánchez, 2019).

5. Referencias

- Bourdieu, P. (1991). *El sentido práctico*. Taurus.
- Concejo Municipal de Restrepo. (2016). *Plan de Desarrollo Municipal “Restrepo, experiencia comromiso y resultados”*. 2016-2019. Alcaldía Municipal de Restrepo.
- De San Eugenio, J. (2013). Fundamentos conceptuales y teóricos para marcas de territorio. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (62), 189-211.
- Espinosa, R. (2015). Conflictos socioambientales y pobreza: el caso de la zona metropolitana de la Ciudad de México. *Cuadernos de Geografía*, 24(1), 193-212.
- Harvey, D. (2009). *Espacios del capital. El arte de la renta: la globalización y la mercantilización de la cultura*. Akal.
- Hoyos Castillo, G. (2009). El cambio urbano: concentración, difusión descentrada y desarticulación. *Quivera*, 11(1), 103-124.
- Lefebvre, H. (1974). La producción del espacio. *Papers. Revista de Sociología*, 3, 219-229.
- Monnet, J. (2013). El territorio reticular. En B. Nates-Cruz, *Enfoques y métodos en estudios territoriales* (pp. 137-167). Red Internacional de Estudios sobre Territorio y Cultura-RETEC.
- Montañez, G. y Delgado, O. (1998). Espacio, territorio y región: conceptos básicos para un proyecto nacional. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 7(1-2), 120-124. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/70838>
- Nates-Cruz, B. (2008). Procesos de gentrificación en lugares rururbanos: presupuestos conceptuales para estudio en Colombia. *Antropología y Sociología: Virajes*, (10), 253-269.
- Nates-Cruz, B. (2011). Soportes teóricos y etnográficos sobre conceptos de territorio. *Co-herencia*, 8(14), 209-229.
- Orellana, R. (1999). Conflictos... ¿Sociales, ambientales, socioambientales?... conflictos y controversias en la definición de los conceptos. En P. Ortiz (comp.), *Comunidades y conflictos socioambientales: experiencias y desafíos en América Latina*. Ediciones Abya Ayala.
- Romero Novoa, J. A. (2019). *Ciudad bisagra: Relación entre los regímenes de desarrollo y el proceso de configuración territorial de la ciudad de*

- Villavicencio (Colombia), entre 1936 y 2019*. Documento de Trabajo. Doctorado en Estudios Territoriales. Universidad de Caldas.
- Sánchez, L. (2019). *Territorios como espacios de memoria y como patrimonio cultural*. Doctorado en Estudios Territoriales. Universidad de Caldas.
- Vergara, A. F. (2018). *Las escalas, las infografías y los imaginarios*. Notas de clase. Doctorado en Estudios Territoriales. Universidad de Caldas.
- Walter, M. (2009). Conflictos ambientales, socioambientales, ecológico distributivos, de contenido ambiental. Reflexionando sobre enfoques y definiciones. *Boletín ECOS*, (6). https://www.fuhem.es/media/ecosocial/File/Boletin%20ECOS/Boletin%206/Conflictos%20ambientales_M.WALTER_mar09_final.pdf
- Zambrano, M. (2017). *Los centros urbanos*. <https://es.slideshare.net/marielzambranoj13/los-centros-urbanos-y-su-evolucion>

Villavicencio: Naturaleza, ciudad y extractivismo en la Orinoquia, siglo XXI*

CLAUDIA YOLIMA DEVIA ACOSTA**

1. Introducción

Los procesos de poblamiento y urbanización en la región de la Orinoquia como “zona de frontera”, y en particular de la ciudad de Villavicencio, han estado históricamente relacionados con dinámicas extractivas. Dichas dinámicas han influido de forma relevante en la configuración territorial de la región, del *continuum* urbano-regional y, en particular, de la ciudad que se revela como resultado físico del proceso de urbanización en la segunda mitad del siglo XX y comienzos del siglo XXI. En Villavicencio confluyen dos fenómenos particulares: la expansión capitalista en una región “trasera” (Giddens, 2006) y un proceso de urbanización cada vez más acelerado, asociado a la transición de una economía agropecuaria a una agroindustrial y mineroenergética.

Se exponen en este trabajo la relación entre este tipo de economías y los cambios de ritmo en el proceso de urbanización de la ciudad y de las ciudades de la red urbana. Para esto se recurrió a la detección de unos “ejes inductores de la urbanización” y a una periodización del

* Este trabajo forma parte de la investigación titulada “Urbanización, red urbana y extractivismo. Una visión del caso de Villavicencio, Meta (Colombia)” defendida en 2018 en el Doctorado en Geografía de la FCT/UNESP.

** Antropóloga de la Universidad Nacional de Colombia. Magíster en Geografía de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. PhD. en Geografía de la Universidad Estatal Paulista, São Paulo (Brasil).

proceso de urbanización de la ciudad evidenciando momentos de ruptura, cambios de ritmo y pervivencias, los cuales se hacen notorios a través de “rugosidades” en el paisaje urbano. Se hizo un barrido bibliográfico y documental de documentos oficiales, y un análisis estadístico básico de datos cuantitativos demográficos y de cuentas nacionales. En el contexto del trabajo de campo, se llevaron a cabo varias entrevistas semiestructuradas a actores representativos según escala/sector/tiempo, y recorridos intra e interurbanos con el fin documentar visualmente y de complementar una visión cualitativa sobre los principales cambios, dinámicas y problemáticas.

En los resultados de la investigación se resaltan efectos como el crecimiento en la economía departamental, con una alta dependencia del sector petrolero, sin que haya significado una disminución de las brechas económicas y sociales internas. También, se observa la repetición de los efectos de las economías extractivas, ya conocidos en otros casos, con una mayor fuerza debido a la intensificación de la lógica extractiva, reflejada en políticas públicas que favorecen la primarización para la producción de *commodities* y cómo estos efectos modelan la ciudad en los últimos años, dejando ver el asocio entre diferentes sectores y agentes económicos. Se denota una relación de doble vía: las economías extractivas modelan en diferentes momentos la ciudad, mientras que esta se convierte en punto luminoso para la producción de *commodities* y para el avance del capital, generando en este contexto una naturaleza cada vez más artificial o modificada, relaciones complejas, y flujos diferenciados y cada vez más acelerados en el territorio.

2. Extractivismo en el departamento de Meta

En este texto se socializan los elementos más relevantes que permiten resaltar la relación entre naturaleza y ciudad, y en particular se traen los resultados que incumben a las principales transformaciones de la ciudad de Villavicencio, capital del departamento de Meta y

centro urbano-regional de la región de la Orinoquia. La escogencia de Villavicencio para entender las relaciones entre extractivismo y ciudad se debe a varios motivos: el hecho de que Meta pasó a ser el primer departamento productor de hidrocarburos en lo corrido del presente siglo; su primacía en términos urbanos y demográficos en el contexto departamental y regional; y el hecho de ser una ciudad que no nació debido a la instalación de una actividad extractiva en particular, pero que sí debe buena parte de sus cambios más drásticos a esta.

El estudio se ubica también en una investigación de largo aliento en torno a la relación entre poblamiento de zonas de frontera, colonización y extractivismo. Se resalta que los efectos de las economías extractivas en los contextos urbanos no han sido suficientemente explorados, y como campo de estudio, demandan atención con el fin de aportar al entendimiento de los procesos de urbanización y de planificación territorial en el contexto urbano-regional.

Ya se ha realizado la aproximación a los efectos de los extractivismos en el piedemonte oriental de la cordillera al sur en Putumayo (Devia, 2004; Domínguez, 1969) y al norte en el corredor petrolero casanareño (Dureau y Flórez, 2000; Devia, 2011). Entendemos las economías extractivas como procesos de extracción intensiva de un producto natural o mineral sin preocuparse por su posible agotamiento. Este tipo de economías:

[...] son desplegadas por agentes especializados (grupos, empresas, etc.), los cuales acumulan las ganancias fuera de la región de extracción, por lo tanto se basan en relaciones desequilibradas de poder en las diferentes escalas entre regiones, países, igual que entre poder económico, político y militar. No dejan una valorización permanente en las áreas de producción los cuales generalmente son regiones lejanas o “inexploradas”. (Devia, 2018)

Los *booms* extractivos atraen población debido a la demanda de mano de obra, y por ende, implican la creación de asentamientos, generalmente informales, que no perduran o son abandonados en las crisis económicas o por el agotamiento del producto, pues el trabajo no se

fija de forma permanente a la estructura espacial (Gómez y Domínguez, 1990). En las últimas décadas, las actividades extractivas han mutado, tornándose más intensivas en actividad y extensivas en términos espaciales, debido a la alta demanda y a los bajos precios de las *commodities* (agrícolas) y a la consolidación del “orden agroalimentario global” (Rubio, 2007); generan contextos altamente monetarizados, sujetos a una cultura comercial y de consumo e implican el fortalecimiento del capital en los subsistemas centrales (De Mattos, 1984). Sobresale un papel diferencial de los agentes relacionados: siendo economías legales cuentan con el beneplácito gubernamental y se trazan como una reformulación de la estrategia de desarrollo en América Latina (Svampa, 2013), lo que dio paso a la reformulación de las políticas mineras y de producción agroindustrial en cada uno de sus países (Toro, 2012). En el caso colombiano, no se ha documentado de forma amplia lo sucedido en el contexto del último auge petrolero en Rubiales, que por tratarse de un fenómeno reciente no cuenta con datos estadísticos suficientes¹; existen vacíos por falta de información. Dada su dimensión, los conflictos derivados comienzan a formar parte del panorama cotidiano de los llaneros y, por tanto, sus especificidades pueden escapar a su análisis y a la reflexión.

La descripción de los elementos estructuradores del proceso de urbanización de Villavicencio y de su papel en la región (periodización y rugosidades) en las últimas tres décadas, a la luz de estas actividades extractivas, constituye el objetivo central de este trabajo. Esto implica entender la dinámica de estas actividades económicas, los agentes asociados a ellas y la forma en que se reconfigura la red urbana regional de piedemonte llanero como una totalidad, y su relación con las nuevas formas económicas y de especialización del capitalismo.

Se contrastaron informaciones de cuatro ejes de indagación: ramos de actividades económicas, equipamientos e infraestructuras, dinámica poblacional y políticas de delimitación regional. A partir de los tres primeros, se distinguieron unos ejes inductores de la producción

1 Apenas de forma reciente el DANE está publicando gradualmente los resultados preliminares del censo de 2018.

del espacio urbano y se elaboró un ejercicio de periodización para resaltar momentos de continuidad, frenadas y cambios de ritmo en la urbanización, evidentes en las principales rugosidades en el paisaje.

3. La urbanización como proceso diferencial en contexto interescalar

La urbanización como proceso debe ser entendida en diferentes escalas. Según datos de ONU Hábitat (2012), el 80 % de la población de América Latina y el Caribe habita en ciudades, sobre todo en las capitales y en ciudades de porte medio. Esta tendencia se repite en el caso colombiano, teniendo en cuenta que la mayor parte de la población y las ciudades se concentra en los Andes y el Caribe, es decir, en “la mitad” del territorio nacional.

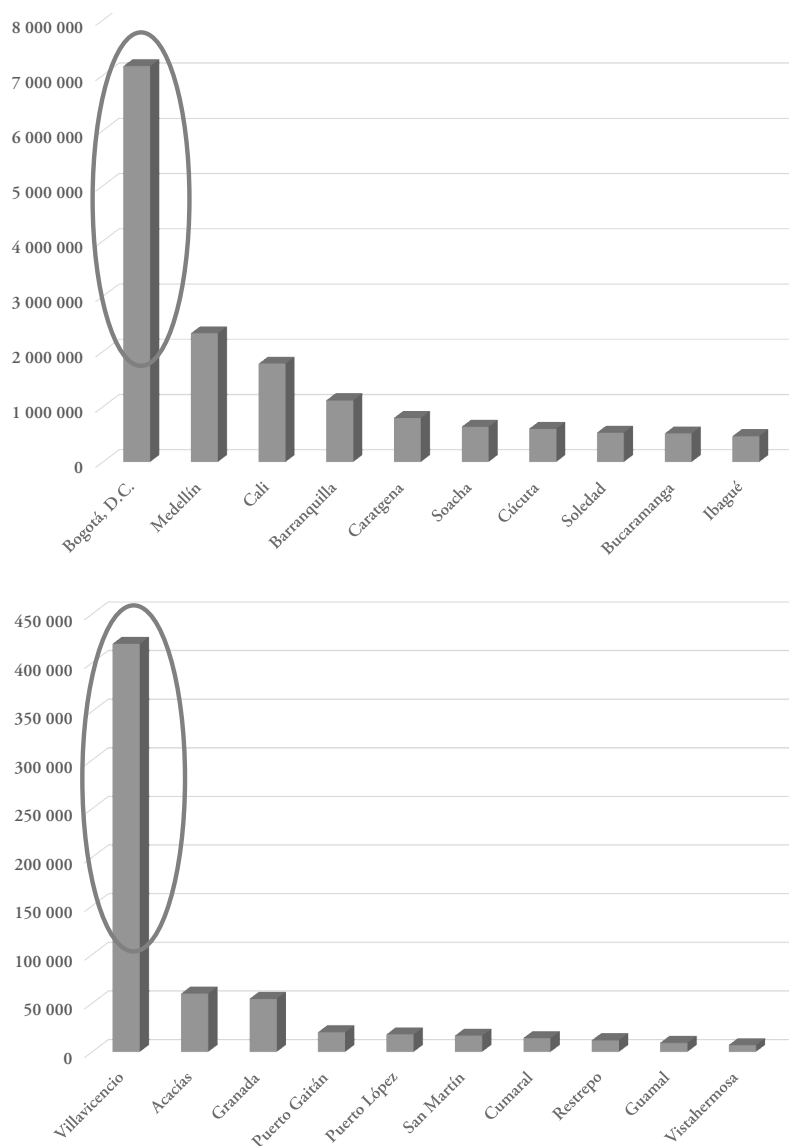
La primacía urbana de Bogotá en el sistema urbano nacional, como fenómeno de concentración de la población urbana —según el cual el número de habitantes de la ciudad principal es “anormalmente” superior a la suma de las siguientes ciudades (Cuervo, 1994)—, se repite para el caso de Villavicencio con respecto al contexto departamental (Figura 2.1).

La ciudad de Villavicencio creció en área y población durante la segunda mitad del siglo XX y lo ha hecho de forma vertiginosa en lo corrido del siglo XXI, pero sin que esto se vea reflejado en las estadísticas. El penúltimo censo fue realizado en 2005, antes del hallazgo de Caño Rubiales y de la intensificación de la explotación en la Cuenca Llanos y en Meta, mientras que el censo de 2018 es posterior al declive en la producción y a la baja del precio mundial del petróleo en 2014, por lo cual no refleja el fuerte crecimiento poblacional en este periodo intercensal.

Así, la población proyectada en Villavicencio para 2015 a partir de anteriores censos es de 460 732 personas (DANE, 2016), un total de población menor al real, calculado entre 600 000 y 700 000 personas según actores institucionales entrevistados durante la investigación (Figura 2.2). Esta cifra incluye una porción de población “flotante” que labora en actividades relacionadas con la actividad petrolera, la

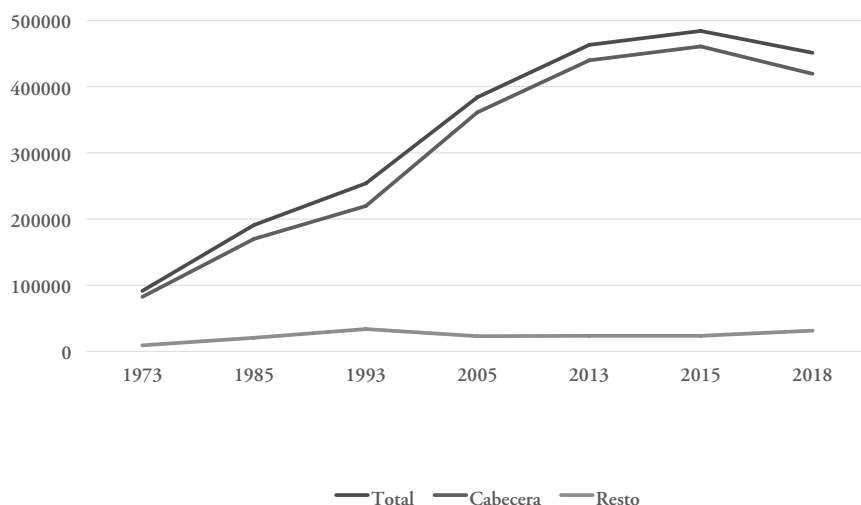
cual habita de forma no permanente en Villavicencio, siendo esta su “ciudad dormitorio” o lugar de paso entre las ciudades de origen de los trabajadores y las áreas de trabajo.

Figura 2.1. Primacía urbana por número de habitantes en principales ciudades de Colombia y del departamento de Meta



Fuente: elaboración propia a partir de los datos del Censo DANE 2018.

Figura 2.2. Crecimiento demográfico en Villavicencio, 1973-2018



Fuente: elaboración propia a partir de los datos del Censo DANE 2018.

Es necesario entonces evaluar cuatro elementos para entender la relación entre extractivismo y ciudad. El primero, evidenciar si la ciudad se ha constituido a partir de la actividad extractiva o si existía previamente. El segundo, ver si el crecimiento de la ciudad ha sido objeto de planeación o si su cambio ha sido espontáneo en el periodo de auge extractivo. El tercero, revisar si la inserción de las actividades extractivas ha influido en el centro urbano. Y, por último, establecer cuánto se pone a prueba la sostenibilidad de estas ciudades a futuro en un panorama de agotamiento de las *commodities*.

4. Ejes inductores de la urbanización en Villavicencio y su red urbana

Para entender el contexto de discusión de los cuatro elementos mencionados, a continuación interpretamos los ejes que indujeron a la urbanización y las “rugosidades” o elementos que persisten en la ciudad.

Figura 2.3. Ejes inductores de la urbanización (parte 1)

Periodo		Fundación y papel de las misiones	“La violencia”	Cultivo del arroz		Industria	Economía subterránea del narcotráfico		
				1940- 1970	1970-1980		1960- 1980	1990	2000-2010
Elementos		Modelos de ocupación española: jesuitas, dominicos y franciscanos	Pueblos en el Ariari		Agroindustrial	Bienes de consumo final simple (madera y muebles, textiles y confecciones, productos de cuero, materiales no mecánicos, alimentos y bebidas)	Mejoramiento de la infraestructura hotelera, sitios de esparcimiento público, vías de comunicación y vivienda en algunos sectores debido al lavado de dinero.	Asocio con esmeralderos y grupos de paramilitares	
Rugosidad		La hacienda	Infraestructura aérea y militar	Primeros molinos	Asentamientos sin planificación	Molinos, concentrados, bebidas...68% en barrios centrales y residenciales, sin planificación!	Casas de “tierra fria”	Sector entretenimiento y comercio	Centros comerciales

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 2.3 observamos los primeros elementos que propiciaron la urbanización, especialmente durante el siglo xx. De estos se destacan la producción arrocerá, sobre todo en su fase agroindustrial y la economía subterránea del narcotráfico, que ha venido influyendo tanto en el estilo arquitectónico de la ciudad, como en la construcción de equipamientos (Baquero, 1990) y de forma más reciente, en la construcción de centros comerciales (Devia, 2018).

Si bien cada eje no corresponde de forma exclusiva a periodos únicos y sucesivos, sí aporta un ritmo diferencial al crecimiento de la ciudad. Su influencia puede ser intensa como puede aliviarse en algunos casos; son eventos, situaciones y formas de producción dinámicas. Algunos de estos ejes actúan simultáneamente imprimiendo un aceleramiento en el proceso de urbanización, como se observa en la Figura 2.4. Así, la construcción de la nueva vía Bogotá-Villavicencio constituyó un factor elemental para el aceleramiento en el sector de la construcción y la inducción de nuevos agentes inmobiliarios, abriendo el mercado sobre todo para la compra de segunda vivienda. También se relaciona con el fortalecimiento del sector comercio y del consumo, este último como elemento diferencial en los procesos de urbanización reciente a escala global. Otra relación a resaltar es la “reciente conjunción de cambios en la infraestructura vial, actividad petrolera y de consumo al interior de la ciudad” (Devia, 2018, p. 179).

El proceso de urbanización se manifiesta en los cambios en el plano y la forma urbana. La Villavicencio del siglo xxi se reconoce como una ciudad con tendencia a la dispersión descontrolada, fragmentada y con una exacerbada mezcla de usos del suelo, producto de la poca planificación y de la dificultad de que esta acompañe los ritmos reales de crecimiento demográfico, económico y urbano.

Figura 2.4. Ejes inductores de la urbanización (parte 2)

Periodo	Producción petrolera		Agricultura industrial	Infraestructura vial			Comercio y consumo		Auge de la construcción	Desplazamiento forzado
	1970-1990	2008		1936	1990	2000-act	1980	2000		
Elementos	Castilla Chichimene, Apiay	Rubiales	Orden agro-alimentario global y demanda de commodities. Ley 939 de 2004 Regula las mezclas de biodiesel. V/CIO PUNTO LUMINOSO.	Conexión con Bogotá	Impacto de la actividad petrolera en Casanare. Proyección de aeropuerto internacional.	Aumento en el flujo de comercio, turismo, vehículos.		Nuevos agentes, construcciones, problemáticas de legalidad. Cambios en el entorno urbano.	Urbanización en salto de rana. Estrategias de valorización.	Informalidad, presión sobre servicios públicos y sociales. Estrategias de urbanización informal y formal.
Rugosidad	Apiay, Zuria, Pompeya, La Balsa.	Eje Villavicencio - Puerto Gaitán. Nuevas formas de vivienda (apartamentos de alquiler). Impacto en el comercio y el consumo.	Comercio para agroindustria. Formación técnica y tecnológica.	Via al Llano.	Marginal del Llano. Nueva vía al Llano.	Doble calzada.	Modelo de Galería.	Centro comercial - franquicias.	Conjuntos cerrados. Segunda vivienda.	Barrios producto de urbanización informal.

Fuente: elaboración propia.

5. Extractivismo y elementos de cambio espacial

Además del factor demográfico, es necesario ver la relación entre actividades económicas y la generación diferencial de infraestructura y tecnología. Se reconoce en el Meta la creación, en el último periodo, de nuevas infraestructuras asociadas a la producción de biocombustibles: Planta Yaguarito, Manuelita, Biocastilla S.A., Destilería de Etanol Bioenergy, Centro de Producción de Agroindustria y Explotación de Hidrocarburos. En términos de tecnología, debe reconocerse que el último auge petrolero se debe en parte al recobro y fracturamiento de roca a altas temperaturas que facilitó sacar en grandes cantidades el crudo pesado. Si bien la explotación de hidrocarburos genera infraestructura *in situ*, también requiere de infraestructura de producción, almacenaje, consumo y transporte (oleoductos) (ver Figura 2.4, rugosidades).

Este último elemento ha sido quizá el más conflictivo, pues debido a la densidad del crudo se dificulta su transporte por ductos, entonces se realiza en camiones cisterna, lo cual ha sido impactante para las ciudades de la red urbana y los ejes intermunicipales debido al alto tráfico pesado y a la demanda de espacios para estacionamiento y almacenaje de maquinaria y material. En razón a esto, se refuncionalizan bodegas de almacenaje de arroz y se da paso a la transformación de usos del suelo a favor de esta actividad, constituyendo las llamadas “playas” en el anillo vial y junto a vías intermunicipales, en áreas donde se superpone un uso industrial, sin estar delimitado previamente en los POT, y se especula con el valor del suelo para venta o arrendamiento.

Las actividades extractivas han jalonado transformaciones en las ciudades, en donde se concentran el capital, y las actividades comerciales y de servicios complementarias a los extractivismos. Se presenta un mayor flujo y venta de transporte de carga, en particular de transporte de camiones cisterna, maquinaria y vehículos al servicio de empresas petroleras y contratistas. Como ejemplo de alteración en la oferta de servicios, encontramos cómo la oferta de cursos en educación superior, principalmente de formación técnica y para el trabajo, se ha volcado

al sector, pasando de siete programas en 2008 a noventa y ocho en 2017 (Devia, 2018). Villavicencio concentra el mayor número de programas y estudiantes en Villavicencio, seguido de Acacías; el número de especializaciones ha pasado de siete en 2001 a cuarenta y ocho en 2015. Valga resaltar el mayor peso de las instituciones privadas con respecto a las públicas y el hecho de que la oferta de programas sea mayoritariamente de instituciones externas a la región.

6. Conclusiones

La intensificación de los extractivismos en la región aumentado las transformaciones del paisaje a causa de la introducción de un nuevo medio técnico-científico. Esto afecta no solo las áreas rurales, sino que además compromete cambios acelerados en la ciudad, haciendo la naturaleza cada vez más artificial (Santos, 2006). La alta monetarización de la economía a causa del nuevo auge ha generado un mayor consumo en la ciudad, representada en el crecimiento de centros comerciales en el último periodo. La transformación reciente de la ciudad de Villavicencio y de las ciudades de su red urbano-regional corresponde a estos procesos, de los cuales se despliegan las transformaciones económicas, políticas y sociales más recientes, particularmente las relacionadas con la economía extractiva del petróleo y la instalación de la agricultura comercial.

En cuanto a la relación entre extractivismo y ciudad, el ejercicio de periodización permite ver que la ciudad no es propiamente fruto de un auge extractivo y que otras actividades económicas han estado presentes en su configuración. El crecimiento de la ciudad no ha estado acompañado por un ejercicio de planeamiento efectivo; por el contrario, Villavicencio es una de las ciudades de referencia en los procesos de urbanización informal de la ciudad, fenómeno exacerbado en el último periodo. La inserción de las actividades extractivas sí ha influido de forma significativa en la ciudad en varias dimensiones (tipo de comercio, de servicios, refuncionalización de espacios), generando cambios importantes en las formas y contenidos de la ciudad.

La cuestión de la sostenibilidad de la ciudad a futuro es un aspecto complejo, pues aunque no se trata de una ciudad que dependa

exclusivamente de los extractivismos, estos sí han sido fundamentales en su crecimiento. Prueba de esto es cómo la ciudad se vio afectada desde 2014 con la caída del precio internacional del petróleo, que significó la disminución de operaciones de exploración y también un menor precio de las regalías recibidas en los presupuestos municipales y departamentales. Esto desembocó en una menor oferta de empleo y en una caída significativa en la demanda de servicios hoteleros y de comercio.

Algunos de los elementos expuestos en la periodización nos permiten hablar de una reestructuración en el espacio intraurbano en curso. Se resaltan la diferenciación y fragmentación en formas y contenidos de la ciudad, y hay muestras de segregación socioespacial asociada a la ocupación del suelo en áreas ambientalmente sensibles, promoviendo una nueva lógica de expansión de la ciudad basada en la informalidad, inclusión de servicios y reconocimientos a fin de que algunas constructoras aprovechen para luego entrar con proyectos de vivienda.

7. Referencias

- Baquero Nariño, A. (1990). *El caso llanero: Villavicencio. Aproximación al modelo de crecimiento sin desarrollo*. Editorial Siglo xx.
- Cuervo, L. M. (1994). *Cambio económico y primacía urbana en América Latina*. Centro Interdisciplinario de Estudios Regionales. Ediciones Uniandes.
- De Mattos, C. (1984). Ciudades intermedias y desconcentración territorial. Propósitos, alcances y viabilidad. *Revista Eure*, 32(11). <https://www.eure.cl/index.php/eure/article/view/945>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2016). *Sitio web oficial*. <http://www.dane.gov.co>
- Devia Acosta, C. Y. (2004). *Orito y la explotación petrolera. Un caso de colonización en el Medio Putumayo 1963-1985*. Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- Devia Acosta, C. Y. (2011). Configuración territorial, petróleo y conflicto. *Los casos de Aguazul y Tauramena, 1974-2005*. IGAC;UPTC
- Devia Acosta, C. Y. (2018). *Urbanización, red urbana y extractivismo. Una visión del caso de Villavicencio (Meta, Colombia)*. FCT/UNESP.

- Domínguez, C. (1969). *Puerto Asís, Putumayo. Migración, urbanización y conflicto*. Ediciones Universidad Nacional de Colombia.
- Dureau, F. y Flórez, C. (2000). *Aguitacaminos: las transformaciones de las ciudades de Yopal, Aguazul y Tauramena durante la explotación petrolera de Cusiana y Cupiagua*. Ediciones Uniandes: Tercer Mundo Ediciones.
- Giddens, A. (2006). *La constitución de la sociedad*. Bases para la teoría de la estructuración. Amorrortu Editores.
- Gómez, A. y Domínguez, C. (1990). *La economía extractiva en la Amazonia colombiana*. Corporación Colombiana para la Amazonia.
- ONU Hábitat. (2012). *Estado de las ciudades de América Latina y el Caribe 2012. Rumbo a una nueva transición urbana*. ONU Hábitat; Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos.
- Rubio, B. (2007). La crisis alimentaria y el nuevo orden agroalimentario financiero energético mundial. *Revista Interdisciplinaria de Estudios Agrarios*, (27).
- Santos, M. (2006). *A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção*. Editora da Universidade de São Paulo.
- Svampa, M. (2013). “Consenso de los commodities” y lenguajes de valoración en América Latina. *Nueva Sociedad*, (244), 30-46.
- Toro Pérez, C. E. (2012). Geopolítica energética: minería, territorio y resistencias sociales . En *Minería, territorio y conflicto en Colombia* (pp. 17-34). Editorial Universidad Nacional de Colombia.

Flexibilisation Concepts for Biogas Plants to balance Energy Supply and Energy Demand in Germany

LENA PETERS*

FRANK UHLENHUT**

SVEN STEINIGEWEG***

1. Introduction

The German energy policy intends a switch from fossil to renewable energy sources in the future. Because the use of renewable energy sources such as wind and solar energy causes fluctuations in the energy supply, concepts are required that can balance these fluctuations and the imbalance between energy production and energy demand. This compensation can consider either energy storage systems or plants that can produce demand-driven energy. One option for demand-driven energy production is the flexibilisation of biogas plants.

This review provides an overview of the current state of flexibilisation concepts and research in the field of biogas plants to cover the energy demand in Germany. Hereby, different concepts are described,

* Ingeniera ambiental y MSc. Applied Life Sciences de la University of Applied Sciences Emden-Leer, Baja Sajonia (Alemania). Doctoranda en Ingeniería Ambiental de la Universidad Otto-von-Güericke, Magdeburgo (Alemania).

** Ingeniero químico ambiental de la University of Applied Sciences Emden-Leer, Baja Sajonia (Alemania). Magíster y doctor en Tecnología Química de la Universidad Carl von Ossietzky, Oldenburg (Alemania).

*** Ingeniero y doctor en Tecnología Química de la Universidad Carl von Ossietzky, Oldenburg (Alemania).

both for flexible electricity production and for flexible biogas production. At the end, we present a case in Meta-Colombia, where this kind of strategy can be implemented to improve the use of residues to biogas production due to the harvest stationery changes.

2. Renewable energies in Germany

Due to the global climate crisis, limited fossil resources and rising global warming, Germany has committed itself to produce mainly electricity from renewable energies in the future. Until 2050 the share of electricity generated from renewable energies should be over 80 % of the gross electricity consumption (Hahn *et al.*, 2014). Currently, most of the energy production from renewable energies is covered by solar and wind energy (AG Energiebilanzen, 2019). Because these energy sources are not controllable but depend on climate conditions, deviations between energy demand and supply will occur. Therefore, there is the major challenge to balance energy demand and supply in the future. For that, bioenergy is a promising renewable energy source. Especially biogas plants are able to produce controllable energy. Nevertheless, the flexibilisation of biogas plants has not yet been fully established in Germany (Peters *et al.*, 2018). Hence, this paper gives a short overview about the different concepts that allow a flexibilisation of biogas plants to make a demand-driven energy production possible.

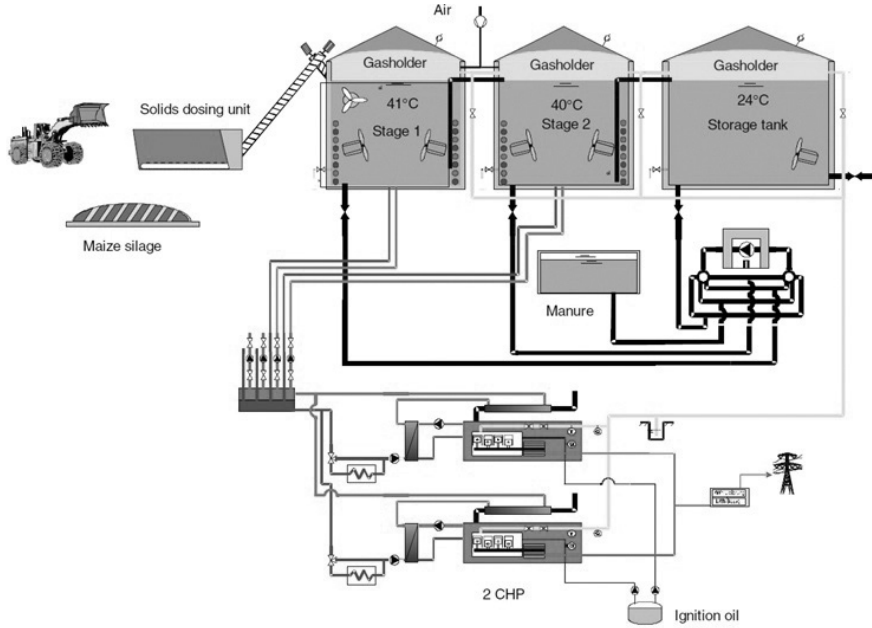
3. Theoretical Basics

3.1. Functionality of Biogas Plants

Biogas plants consist mainly of a substrate silo, main fermenter, post-fermenter, digestate storage and gas storage (see Figure 3.1). Within the fermenter, biogas is produced by anaerobic digestion through bacteria. During the fermentation, the gas-tight reactor is heated up (for mesophilic conditions to 37-42 °C) and intermittently mixed. Biogas is a gas mixture that consists mainly of methane (50-75 vol.-%) and carbon dioxide (25-50 vol.-%), as well as traces of e.g. hydrogen, ammonia and hydrogen sulfide. Finally, the produced biogas can be converted

into heat and power by a CHP unit or alternatively, it can be purified and injected into the gas grid (FNR, 2012).

Figure 3.1. Typical agricultural biogas plant



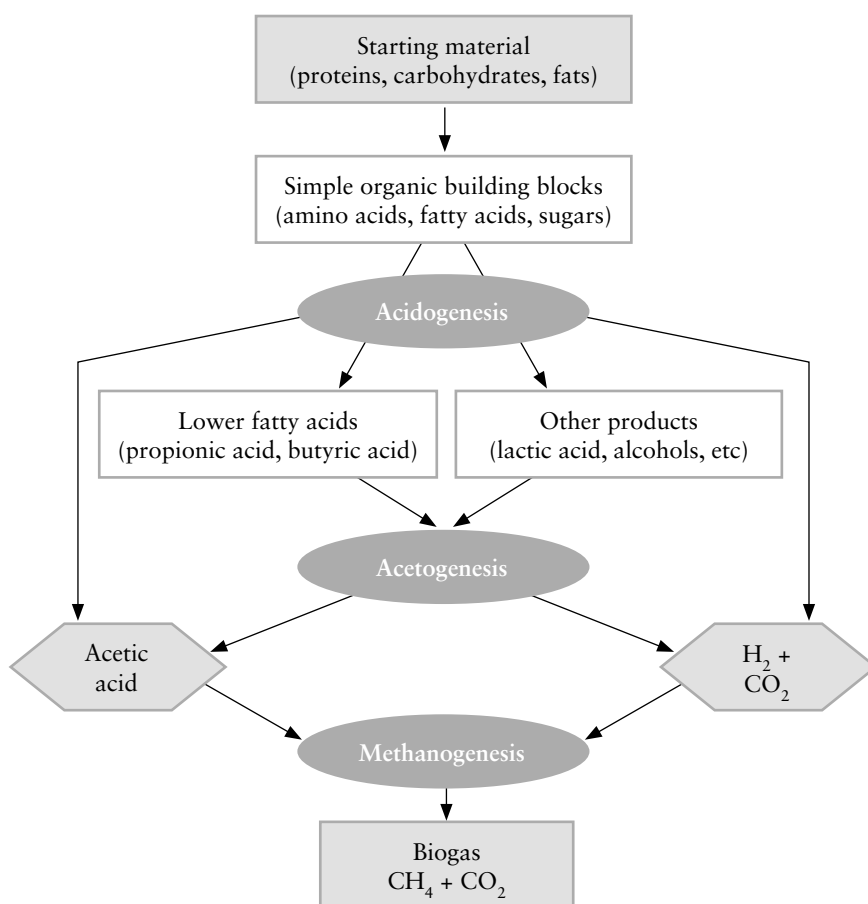
Source: Weiland (2010).

3.2. Steps of Anaerobic Digestion

Anaerobic digestion describes a biochemical process in which organic matter is degraded under absence of oxygen to biogas. Thereby, a large range of different microorganisms is involved. The process of biogas formation takes place in four steps (see Figure 3.2). It starts with the hydrolysis, where the complex organic matter (substrate) consisting of proteins, carbohydrates and fats is broken down into simpler organic compounds like amino acids, sugars and fatty acids. In the next stage, acidogenesis, these monomers are converted into lower organic acids (e.g. propionic acid, butyric acid) and other products like alcohols and lactic acid. This step is followed by the acetogenesis, in which acetic acid, hydrogen and carbon dioxide are formed. Finally, during

the methanogenesis, acetic acid and hydrogen react to methane and form biogas. During the whole process, the interaction (syntrophy) between the acetogenic bacteria (hydrogen-forming bacteria) and the methanogenic bacteria (hydrogen-consuming bacteria) is very important. Because methane is formed from hydrogen but a too high hydrogen content inhibits the acetogenesis, a balanced hydrogen production and consumption is essential (FNR, 2012; Weiland, 2010).

Figure 3.2. Steps of anaerobic digestion



Source: FNR(2012).

4. German Energy Policy

The main key driver of the development of renewable energies in Germany was the Renewable Energy Act (Erneuerbare-Energien-Gesetz, EEG), first implemented in 2002. The EEG supported renewable energies by three main pillars: the right of grid connection, the preferred purchase of electricity from renewable energies, and a guaranteed feed-in tariff. Especially, it supported the energy production from renewable raw materials, like maize as an energy crop. From that, the number of biogas plants strongly increased. Over time, the EEG was adapted by amendments (Daniel-Gromke *et al.*, 2018). Since 2012 the EEG has been amended to promote the development of demand-driven biogas plants and the direct marketing of electricity by a flexibility premium (Peters *et al.*, 2018). The current amendment of EEG, from 2017, changes the funding from a fixed to a tender tariff system. There are yearly limits for the expansion of biogas plants. For example, in 2014 the expansion was limited to 100 MW_e. Moreover, there are no longer supports for a special type of biomass input, but there are limits for the used amount of maize, which will be continuously lowered in the future. Additionally, biogas plants are only supported if they install a minimum CHP over capacity. As a result, the growth in biogas plants in Germany has decreased significantly in recent years (Daniel-Gromke *et al.*, 2018).

5. Flexibilisation Concepts

Along the whole process chain of a biogas plant, there are many different points where the process can be more flexible. Figure 3.3 shows the different steps of the biogas process and the different approaches for flexibilisation. These approaches include concepts from feeding management, pre-digestion and storage of intermediates, additional capacity (gas storages, CHP overbuilding) over biogas treatment and biomethane injection to Power-to-X (Trommler *et al.*, 2016). Below, these approaches (which can be divided into concepts for a flexible electricity production) and concepts for a flexible biogas production

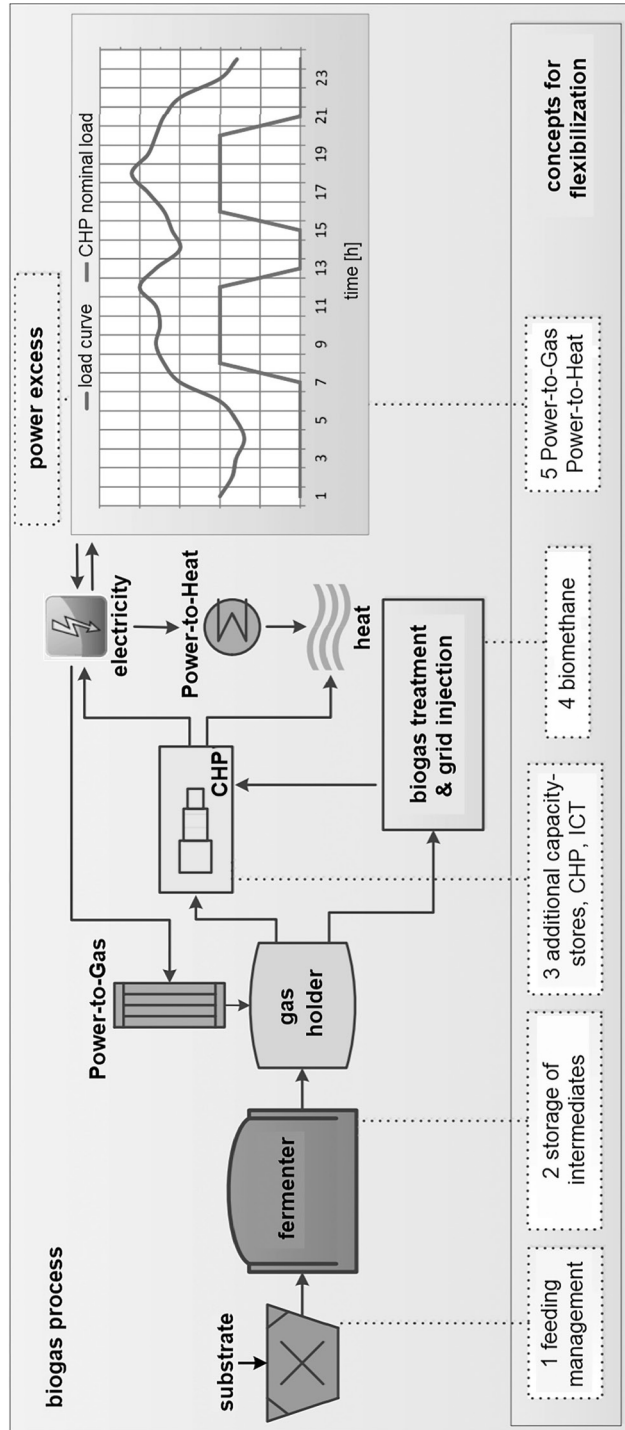
are described in more detail. Moreover, the current status of research and the established state of the art in Germany are discussed.

5.1. Flexible Electricity Production

There are different approaches to produce electricity flexibly by biogas plants. The great advantage of these concepts is that demand-driven electricity production is possible without changes to the gas production processes. The first and already common concept is to install local gas storages at the biogas plant. In addition to tank-bounded gas storages at the top of a fermenter, it is possible to implement external storages like gas bags (Ortwein *et al.*, 2014; Peters *et al.*, 2018). Such local storages have a limited capacity of four to eight hours only to bridge short-term fluctuations at the gas production or plant failures. For flexibilisation and direct marketing, information about the exact filling level is very important but currently difficult to measure (Holzhammer *et al.*, 2013). Therefore, German research projects like “ManBio” from the German Biomass Research Center (Deutsches Biomasseforschungszentrum, DBFZ) dealt with the optimization of gas holder systems and filling level measurements (Dotzauer *et al.*, 2019). Another disadvantage is the rising methane emissions with increasing storage capacity (Hahn, 2015). Within the project “Textile biogas storages”, the Karlsruhe Institute of Technology (KIT) improves biogas roofs to increase the storage capacity (Austinat, 2017).

There is also the option to store biogas in a decentralized manner in the natural gas grid. For this, the biogas has to be upgraded to biomethane to fulfill the requirements of gas quality. Gas components like carbon dioxide, water and hydrogen sulfide have to be removed by physical or chemical processes. Before the biomethane is injected into the gas grid, it is odorized and compressed (Hahn *et al.*, 2014). Thus, decentralized biogas storage makes a decoupling of gas production and utilization possible and presents an almost unlimited storage (Ortwein *et al.*, 2014; Szarka *et al.*, 2013). However, such concepts require additional investments for gas treatment and grid access so that this is not profitable for every plant. Decisive factors are the plant size and the distance to the gas line (Hahn, 2015).

Figure 3.3. Flexibilisation concepts for biogas plants



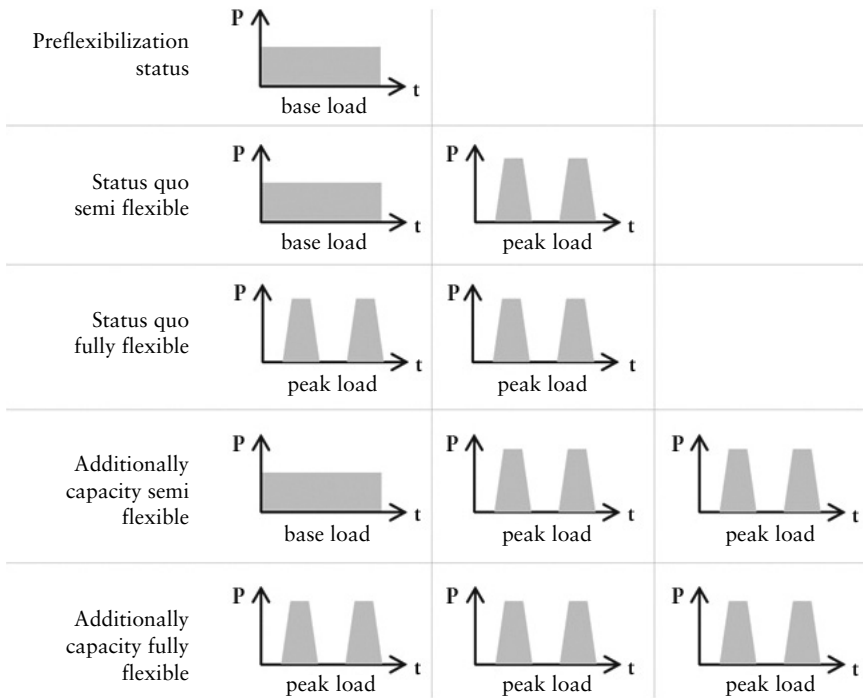
Source: Modified from Trommler *et al.* (2016).

Another method to increase the flexibility of renewable energies is called Power-to-X, which means a coupling of different energy sectors like electricity, heat, gas or chemicals. Power-to-X is used to convert already produced excess electricity, e.g. by wind or solar energy, into other energy types that can be used as energy storage. Power-to-gas (PtG) describes the conversion from excess electricity to gases (hydrogen or methane); power-to-heat (PtH), to heat; and power-to-liquid (PtL), to liquids like methanol (Trommler *et al.*, 2016). The coupling of biogas plants with power-to-gas plants makes it possible to use excess electricity of renewable energies to produce hydrogen by an electrolyzer. Afterwards, the hydrogen reacts with biogas from the biogas plant inside of an additional methanation fermenter to methane. The biomethane can be injected into the gas grid or used as a fuel (Heidrich, 2015; Neumann *et al.*, 2014). This type of coupling has already been proved by several projects, e.g. the e-gas project at Werlte by Audi AG and EWE NETZ, as well as the BioPower2Gas project (Heidrich, 2015; Kurt *et al.*, 2014). The University of Applied Sciences Emden/Leer analyzes the feasibility of such a concept within the Power-To-Flex project. This project also investigates the conversion into liquid fuels like methanol (Power-to-Flex, 2019).

For power-to-heat, a PtH module is installed at a plant to use excess electricity for heat production and storage. But this concept is only useful if the plant has to reduce its electrical power, e.g. due to network congestion (Trommler *et al.*, 2016).

The predominantly applied flexibilisation concept for biogas plants in Germany is the CHP overbuilding. This means that plants are equipped with additional CHP units and gas storage capacity: More CHP units allow a start-stop operation of each unit and thus more flexibility. For example, during low power demand phases the units are shut down, and during high power demand phases all units are operated under full load (Holzhammer *et al.*, 2016; Ortwein *et al.*, 2014). The combination of several units enables different technical scenarios for semi or full flexible power production (see Figure 3.4).

Figure 3.4. Illustration of different modes of CHP operations for biogas plants



Source: Lauer *et al.* (2017).

5.2. Flexible Biogas Production

In addition to flexibilisation of the electricity production, also the biogas production can be made flexible by different approaches.

Interventions in the first step of the process chain, the feeding of the biogas plant, can influence the biogas production. Such a feeding management uses different substrates with different degradation kinetics and adapts the feeding periods and amounts according to the biogas demand (Ortwein *et al.*, 2014). In this case, the greatest challenges are the slowness of the biogas process and the sensitivity of the bacteria. Therefore, simulations of the biogas process and feeding controllers are part of several research projects to optimize such a

feeding system. A common model type for biogas plants is the Anaerobic Digestion Model No. 1 (ADM1). For example, the project “Flexibla” at the University of Applied Sciences deals with the analysis of such a feeding system based on the ADM1. Especially fast degradable substrates like sugar beet silage are popular for flexibilisation by feeding management (Peters *et al.*, 2018).

To accelerate the degradation of substrates to methane, another approach is to implement an upstream substrate disintegration unit into the biogas process. In this first step, the complex organic compounds react to amino acids, sugars and fatty acids by hydrolysis. These compounds can be well stored and quickly converted into methane if needed (Ortwein *et al.*, 2014).

In addition to a hydrolysis reactor, there are concepts that additionally use a solid-liquid separation after hydrolysis. Then the solid phase serves to operate a stirred-tank fermenter for a continuous biogas production. Additionally, the liquid phase is placed in a fixed bed reactor to produce biogas flexibly. First, pilot plants proved the functionality and flexibility of this concept, but besides the high investment, costs have to be considered (Hahn, 2015).

6. Colombian Case

The development of the biogas production sector in Colombia is in an initial stage in comparison with the actual development in Germany. However, there are similarities in the regional context where the agricultural residues are produced. The departments of Valle del Cauca, Santander and Meta are big agricultural centers in the country, where a huge amount of residues are generated, as happens in comparison with northern and southern regions of Germany. Parts of these residues are used in Colombia by farmers in small rural fermenters, where this kind of flexibilisation strategy does not apply. Although there are more advanced biogas plants, as the “La Manuelita Factory” in Valle del Cauca, Casanare and Meta departments (La Manuelita, 2019). La Manuelita produces sugar and oil from sugar cane and oil palm. To produce bioenergy from the residues from sugar cane and oil palm, the company constructed anaerobic lagoons implemented as biogas

plants to provide the electric energy of the factory and sells part of it to the Colombian electrical network. The more advanced plant is located in San Carlos de Guaroa-Meta (Figure 3.5), with a production of 20 GW; 840.000 kW sold to the electrical public network (La Manuelita, 2016).

Figure 3.5. Biogas plant in La Manuelita Factory, San Carlos de Guaroa, Meta department, Colombia



Source: Rojas (2020).

The production of biogas remains high during the harvest time, but the capacity of the plant is not used the rest of the year because of the lack of residues, which make feasible flexibilisation concepts as feeding management and storage of substrate for low peak production of residues.

7. Conclusions

The overview of flexibilisation concepts for biogas plants, which make a demand-driven energy production possible, showed that there has

to be a difference between flexible electricity production and flexible biogas production. A flexible electricity production is not entailed with interventions in the biogas production process, but limits the flexibility of the plant. These include concepts like local and decentralized biogas storage, Power-to-X concepts and CHP overbuilding. A flexible biogas production makes interventions into the biogas process necessary. By feeding management, no investments are required, but the slowness of the biogas process and the sensitivity of the bacteria are one of the greatest challenges. Other concepts like pre-digestion and intermediate storages or fixed bed reactor systems increase the degradation rate of substrates and flexibility of the plant, but cause high investment costs as well. As a conclusion, there is not yet a fully developed flexibilisation concept for biogas plants. Further research is necessary to optimize these concepts and to find the best way for demand-driven energy production in the future.

8. References

- AG Energiebilanzen. (2019). *Stromerzeugung nach Energieträgern 1990 bis 2018*. https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=20181214_brd_stromerzeugung1990-2018.xlsx
- Austinat, S. (2017). *Hochleistungs­dächer und „Traubenzucker für die Mikroben“ — Neue Konzepte zur flexiblen Biogasbereitstellung in der Erforschung*. https://www.fnr.de/presse/pressemitteilungen/archiv/archiv-nachricht/tx_news/hochleistungsdaecher-und-traubenzucker-fuer-die-mikroben-neue-konzepte-zur-flexiblen-biogasbereits/?tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=8ba1034c244abda16b0ff8e355052c18
- Daniel-Gromke, J., Rensberg, N., Denysenko, V., Stinner, W., Schmalfuß, T., Scheftelowitz, M. & Liebetrau, J. (2018). Current Developments in Production and Utilization of Biogas and Biomethane in Germany. *Chemie Ingenieur Technik*, 90(1-2), 17-35. <https://doi.org/10.1002/cite.201700077>
- Dotzauer, M., Pfeiffer, D., Lauer, M., Pohl, M., Mauky, E., Bär, K. & Thrän, D. (2019). How to Measure Flexibility — Performance Indicators for Demand Driven Power Generation from Biogas Plants. *Renewable Energy*, 134, 135-146. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.10.021>

- FNR. (2012). *Guide to Biogas: From Production to Use*. Biogasportal.info. FNR. https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/g/u/guide_biogas_engl_2012.pdf
- Hahn, H. (2015). *Verbundvorhaben: Regelung der Gasproduktion von Biogasanlagen (ReBi); Teilvorhaben 1: Verfahrenstechnische und energiewirtschaftliche Analyse und Bewertung: Schlussbericht zum Vorhaben: Laufzeit: 01.09.2012 bis 31.12.2013*. Technische Informationsbibliothek (TIB); Fraunhofer IWES. <https://edocs.tib.eu/files/e01fb16/846575507.pdf>
- Hahn, H., Krautkremer, B., Hartmann, K. & Wachendorf, M. (2014). Review of Concepts for a Demand-Driven Biogas Supply for Flexible Power Generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 383-393. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.085>
- Heidrich, T. (2015). *BioPower2Gas — Demonstration und Vergleich von optimal leistungsregelbaren Biogastechnologien*. http://www.biopower2gas.de/fileadmin/redaktion/biopower2gas/Mediathek/BioPower2Gas_Kurzflyer.pdf
- Holzhammer, U., Krautkremer, B., Jentsch, M. & Kasten, J. (2016). *Beitrag von Biogas zu einer verlässlichen erneuerbaren Stromversorgung*. http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-3893420.pdf
- Holzhammer, U., Lavall, D. & Krause, T. (2013). Gasspeicher bedarfsgerecht dimensionieren. *Biogas Journal*, (3), 72-75.
- Kurt, O., Götze, T. & Schönrock, J. A. (2014). Das e-gas-Projekt am Biogasanlagenstandort in Werlte. *Fachberichte gwf-GasErdgas*, (5), 304-309.
- Lauer, M., Dotzauer, M., Hennig, C., Lehmann, M., Nebel, E., Postel, J. & Thrän, D. (2017). Flexible Power Generation Scenarios for Biogas Plants operated in Germany: Impacts on Economic Viability and GHG Emissions. *International Journal of Energy Research*, 41(1), 63-80. <https://doi.org/10.1002/er.3592>
- La Manuelita. (2016). *Ejemplo a seguir*. Last access on 25 July 2016. <http://www.manuelita.com/manuelita-noticias/ejemplo-a-seguir/>
- La Manuelita. (2019). *Informe de Sostenibilidad 2017-2018*. <http://www.manuelita.com/manuelita-noticias/informe-de-sostenibilidad-2017-2018/>
- Neumann, L., Stubbe, M. & Rilling, N. (2014). Biologische Methanisierung von fluktuierendem Wind- und Solarstrom. *Fachberichte gwf-GasErdgas*, (3), 156-160.
- Ortwein, A., Krautz, A., Szarka, N., Braun, J., Dotzauer, M. & Wurdinger, K. (Eds.). (2014). *Einsatz von Biomasse zur bedarfsgerechten*

- Energieerzeugung: Endbericht. Schriftenreihe nachwachsende Rohstoffe: Vol. 32.* Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR). https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/s/c/schriftenreihe_band_32_web_neu.pdf
- Peters, L., Uhlenhut, F., Biernacki, P. & Steinigeweg, S. (2018). Status of Demand-Driven Biogas Concepts to cover Residual Load Rises. *Chem-BioEng Reviews*, 5(3), 163-172. <https://doi.org/10.1002/cben.201800004>
- Power-to-Flex. (2019). Power-to-Flex-Projekt. <https://www.powertoflex.eu/de>
- Rojas, C. (2020). *Visita Planta La Manuelita, San Carlos de Guaroa* (23-01-2020) [fotografía].
- Szarka, N., Scholwin, F., Trommler, M., Fabian Jacobi, H., Eichhorn, M., Ortwein, A. & Thrän, D. (2013). A Novel Role for Bioenergy: A Flexible, Demand-Oriented Power Supply. *Energy*, 61, 18-26. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.12.053>
- Trommler, M., Dotzauer, M., Barchmann, T., Matthischke, S., Brosowski, A., Keil, A. & Kretschmer, K. (2016). *RegioBalance — Bioenergie-Flexibilisierung als regionale Ausgleichsoption in deutschen Stromverteilernetzen: Endbericht FKZ 03KB087A und 03KB087B*. DBFZ.
- Weiland, P. (2010). Biogas Production: Current State and Perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(4), 849-860. <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2246-7>

Sanitary Solutions in Natural Parks and Recreation Zones

ADENIKE BETTINGER*

RALF HABERMANN**

1. Introduction

This chapter gives a brief outlook on future sanitary solutions in special areas (natural protected areas). Natural parks and recreation zones have requirements that make it difficult to install a comfortable sanitary facility. Dry toilets or chemical toilet systems are often used. The conditions of these facilities are summarized and their suitability is questioned. Due to increasing waste and feces contamination in the environment, there are alternatives like a self-sufficient toilet system. The fundamental requirement of such system is to keep water in a circulating system. This requires a wastewater treatment method like disinfection with e.g. chlorine, UV radiation or ozone. The efficiency of these methods is discussed, and it is concluded that ozonisation in combination with filtration might be the best way to establish the self-sufficient system mentioned above. This kind of solution is also suitable for natural parks as the ones located in the Orinoquia Region. Due to the easy access from Bogotá and Villavicencio, some of the natural regions in the Orinoquia Region experience strong tourism flows.

* Ingeniera en Bioingeniería y Bioinformática y MSc. Applied Life Sciences de la University of Applied Sciences Emden-Leer, Baja Sajonia (Alemania).

** Ingeniero químico de la Universidad Técnica de Clausthal, Zellerfeld (Alemania). Doctor en Ingeniería Química de la Universidad de Paderborn, Renania del Norte-Westfalia (Alemania).

2. Situation in Natural Parks and Recreation Zones

Natural parks are usually located in remote areas to protect and conserve mostly unique and endangered flora and fauna. Beside this scope, there is also an interest in tourism. To serve both —tourism and protection of flora and fauna— there has to be a very good balance. On one hand, tourism can be used to finance the protection of natural environments; on the other hand, it means that the tourists have to get insights without disturbing the inhabitants of the park. The conclusion is that there has to be some kind of infrastructure for human basic needs, like waste disposals and sanitary facilities. If no public supplies are available for water and electricity, then following two options can be the solution for this problem: A dry or a chemical system.

3. Sanitary Facilities in Natural Parks or Recreation Zones

In the following subchapters, there will be brief descriptions of three dry toilet systems that are used in some natural parks ever since.

3.1. Outhouse

An outhouse, as its name suggests, refers to an independent building specifically constructed for toilet housing. These toilets are named “dry-toilets” because they do not involve the flushing of water. Outhouses had been first used long time ago as a replacement to open defecation—before modern disposal systems were developed. Some rural areas and developing countries still use outhouses; in fact, their use is also encouraged in places where crowds are present, such as recreational zones and parks. Outhouses first emerged because they save space, they decrease soil and water supply contamination, and they are economically and energy efficient. The problems are the odors and the limited capacity due to limited locations (Schock, 1967).

3.2. Compost Toilet

Compost toilets are also waterless or “dry-toilets” because they get rid of human wastes in the absence of water, through decomposition of organic matter by the use of biological species. The decomposition may be aerobic (involving oxygen) or anaerobic (absence of oxygen), but in this case oxygen is used. Living organisms, such as bacteria, feed on human feces and digest them in the presence of oxygen, producing nitrate and phosphate. These compounds serve as enriching nutrients to the soil, making it more fertile. Often, additional carbon sources, such as wood shavings, are mixed with the organic matter to provide the necessary amount of carbon needed for decomposition. To provide proper oxygen supply for aerobic digestion, as well as sufficient ventilation for odor removal, the use of fans is sometimes incorporated in compost toilets. Although decomposition takes a lot of time and compost toilets are often restricted to certain capacities, they have proven to decrease the amount of wastes by 30% while also reducing household water usage by up to one-third (Encyclopædia Britannica, 2019; Kakimoto & Funamizu, 2007).

3.3. Separating Toilet

Human waste contains nutrients such as nitrogen and phosphorus, which are important in several applications, one being fertilizer production. When human waste is discarded, these nutrients are diluted in wastewaters and thus must be collected again, via energy-intensive processes, to be re-used. Separating toilets aim to simplify the re-use of these nutrients in terms of costs and energy. They work by directly separating the urine from the feces in the presence of two holes in the toilet, a small one for the urine and a larger one for the feces. Since urine is low in pathogens, it can be used as in the production of fertilizer. Feces, on the other hand, contain a large number of viruses and thus must be thoroughly cleaned and treated before re-use. Treatment methods for feces include composting or drying. The main difference between compost toilets and separating toilets is the separation, where urine can be re-used without the need for composting; whereas, feces

must undergo decomposition into their main components, which include nitrogen, phosphorus and others. A very commonly used type of separating toilet is the urinal for men, which forces them to deposit the urine and feces in two different places (Cook, 1991; Höglund *et al.*, 1998).

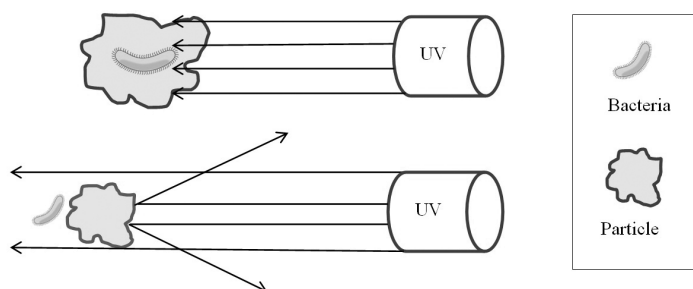
In summary, there are options working without public electricity or water supply, but they all have a disadvantage in one point: comfort. In the following chapters, we mention methods that can be used for grey water treatment to establish a full water cycle, and to enable the possibility for a classic sanitary system without public supply when coping electricity demand via renewable energy.

4. Wastewater Treatment

Water disinfection has gained more interest in recent years in Germany. There are additional cleaning steps in wastewater treatment plants (WWTP) that are being discussed to increase the purity of the water and prevent the increasing nutrition load into the receiving water (Umweltbundesamt, 2015).

In the norm DIN 12255-14 (2004), there are two methods mentioned for water disinfection. The first method is based on the inactivation of microorganisms by chemical or physical treatment. The second method eliminates the microorganisms e.g. by membrane filtration (DIN EN 12255-14, 2004). The inactivation of microorganisms can be limited due to encapsulated microorganisms, if ultraviolet light is utilized for disinfection, the particles absorb the light or shield the microorganisms from radiation (Loge *et al.*, 1999) (Figure 4.1). Filtration can improve the efficiency of disinfection by eliminating some encapsulated microorganisms (Dietrich *et al.*, 2007).

Figure 4.1. Principle of the shielding process of particles



Source: Bischoff (2013).

The effectiveness of the methods depends on several parameters like e.g. residence time of the disinfectant or distribution of particles in the water.

In the following chapter, there is a brief summary of disinfection with chlorine, ozone and UV radiation and their efficiency against microorganisms and challenges in application.

4.1. Chlorine Disinfection

Chlorine is a widely applied disinfectant (Sisti *et al.*, 1998). Presence of chlorine reduces the permeability of the microorganism's membrane. The protective effect is shown in Figure 4.1. The use of UV radiation gives similar results as the chlorination. Organic matter and particles can also have a tailing effect for microorganisms, but in a different way. A study conducted by Virto *et al.* (2005) showed that the chlorine concentration needed for inactivation of the microorganisms was higher in presence of high concentrations of organic matter. Higher content of organic matter means higher chlorine demand. The usage of a filtration step before the chlorination can decrease the necessary concentration of chlorine (March *et al.*, 2005).

There is also a risk of re-contamination when reusing chlorinated water (Dixon *et al.*, 1999) that may even be increased after the chlorine disinfection in behalf of the oxidation products that are metabolized better due to smaller molecular weight and size (Narkis *et al.*, 1995; Winward *et al.*, 2008).

4.2. Ozone Disinfection

Ozone disinfection is already applied in few WWTP overall Europe (Xu *et al.*, 2002). It is currently one of the strongest and most efficient disinfectants (Sonntag & Gunten, 2012). The reaction scheme is twofold, because ozone is unstable in water: It can react directly and selectively as ozone or indirectly and fast as dissolved OH radicals (Gunten, 2003), and both reactions are dependent on the water matrix, pH value and the ozone dose. It is applied on secondary effluent, because it has a lower content of organic compounds and therefore, a lower ozone demand (Paraskeva & Graham, 2002). The combination of disinfecting and oxidation enables ozone to eliminate color and odor too. Microorganisms are inactivated most likely via surface damage following destruction of the nucleic acids and certain enzymes (Paraskeva & Graham, 2002). The suitability is limited when bromide is present in the water. During ozonation bromide is transformed to bromate, which is carcinogen (U.S. National Library of Medicine, 2019).

4.3. UV Disinfection

UV radiation with wavelength around 260 nm has an inactivating effect on microorganisms. The effect is based on the destruction of DNA and RNA, which are essential for the replication of the genome (Knieling, 2005). In comparison to chloride and ozone, the membrane of the microorganisms' cells is still intact after application of UV radiation (Cho *et al.*, 2010). It became more interesting with the discovery of the higher efficiency against the two parasites *Cryptosporidium* and *Giardia* in comparison to chloride (Clancy *et al.*, 2000). When applying UV radiation to wastewater, it is difficult to measure the exact radiation dose online because it depends on factors like the UV transmission, the intensity of the lamps and the properties of the water (Bischoff, 2013). Biodosimetry describes an offline method to determine the radiation dose. Therefore, microorganisms with known inactivation kinetics are radiated with UV and counted before and after the treatment to calculate the dose (Hijnen *et al.*, 2006).

5. Colombian Case

The department of Meta as part of the Orinoquia Region comprises many natural ecosystems with touristic attributes that combine with the new highway Bogotá-Villavicencio and make the visits of citizens more feasible, increasing anthropic consequences, especially the waste treatment. One example of these ecosystems are the protected forestry reserve Vanguardia and the protected reserve Buenavista, natural areas very close to the urban area of Villavicencio. Many characteristic flora and fauna of the Piedemonte region are found here, so as water resources that provides the urban area. One of the critical points is the “Vereda El Carmen” (Figure 4.2), one of the entrances to the protected reserve Buenavista. This place is actually an important place of hiking and bird watching, where many visitors go daily. As a protected area, the construction of infrastructure is very restricted, therefore the sanitary facilities are few and the effluents are discharged directly to the water sources (Ulloa, 2018). In this scenario, the implementation of a sanitary solution like the ones explained above is imperative. The characteristic of this natural area makes more practical the use of UV and ozone for the treatment of wastewater in the sanitary facilities, because of the prohibition to discharge chemical substances as chlorine inside the protected reserve Buenavista.

Figure 4.2. (A) View from the protected reserve Buenavista through Villavicencio city. (B) Route through the Vereda El Carmen from Villavicencio



(B)



Source: Rojas (2020).

6. Conclusion

There are some established physical and chemicals methods for water disinfection. Chlorine is widely applied in many sectors, like food or water sectors. The success of disinfection is very closely related to the organic matter and its particle size in grey water (Winward *et al.*, 2008). It needs to be refilled constantly. Therefore, it is not easy to apply in a self-sufficient system.

It was shown that disinfectants that damage the inner parts of microorganisms' cells, and not the surface itself, reach higher disinfection success (Cho *et al.*, 2010).

Ozone is gaining more interest because of its suitability for disinfection and as an oxidant. It is the strongest disinfectant and does the greatest damage to cells surfaces. In the presence of bromide, it is not recommended to use ozone as the only disinfection step. The evolving bromate can be eliminated with an additional biological filtration step.

Due to their characteristics, ozone and UV might be good disinfectants for a secondary effluent in a self-sufficient sanitary facility.

7. References

- Bischoff, A. (2013). *Desinfektion von behandeltem Abwasser — Vergleich verschiedener Desinfektionsverfahren*. Dissertation. Technische Universität. Darmstadt.
- Cho, M., Kim, J., Kim, J. Y., Yoon, J. & Kim, J.-H. (2010). Mechanisms of *Escherichia coli* Inactivation by Several Disinfectants. *Water Research*, 44(11), 3410-3418. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.03.017>
- Clancy, J. L., Bukhari, Z., Hargy, T. M., Bolton, J. R., Dussert, B. W. & Marshall, M. M. (2000). Using uv to Inactivate Cryptosporidium. *Journal - American Water Works Association*, 92(9), 97-104. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2000.tb09008.x>
- Cook, B. (1991). *Guidelines for the Selection of a Toilet Facility*. U.S. Department of Agriculture.
- Dietrich, J. P., Loge, F. J., Ginn, T. R. & Basagaoglu, H. (2007). Inactivation of Particle-Associated Microorganisms in Wastewater Disinfection: Modeling of Ozone and Chlorine Reactive Diffusive Transport in Polydispersed Suspensions. *Water Research*, 41(10), 2189-2201. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.01.038>
- DIN EN 12255-14. (2004). *Kläranlagen — Teil 14: Desinfektion; Deutsche Fassung EN 1225514:2003*. Beuth University of Applied Sciences.
- Dixon, A. M., Butler, D. & Fewkes, A. (1999). Guidelines for Greywater Re-Use: Health Issues. *Water and Environment Journal*, 13(5), 322-326. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.1999.tb01056.x>
- Encyclopædia Britannica. (2019). *Composting Toilet*. Last access on 20 June 2019. <https://academic-eb-com.ezproxy.aub.edu.lb/levels/collegiate/article/composting-toilet/607220>
- Gunten, U. von. (2003). Ozonation of Drinking Water: Part I. Oxidation Kinetics and Product Formation. *Water Research*, 37(7), 1443-1467. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00457-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00457-8)
- Hijnen, W. A. M., Beerendonk, E. F. & Medema, G. J. (2006). Inactivation Credit of uv Radiation for Viruses, Bacteria and Protozoan (Oo)Cysts in Water: A Review. *Water Research*, 40(1), 3-22. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.10.030>
- Höglund, C., Stenström, T. A., Jönsson, H. & Sundin, A. (1998). Evaluation of Fecal Contamination and Microbial Die-Off in Urine separating Sewage

- Systems. *Water Science and Technology*, 38(6). [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(98\)00563-0](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(98)00563-0)
- Kakimoto, T. & Funamizu, N. (2007). Factors affecting the Degradation of Amoxicillin in Composting Toilet. *Chemosphere*, 66(11), 2219-2224. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.09.060>
- Knieling, N. B. (2005). *Gekoppelte fluidmechanische Modelle für Desinfektionsvorgänge und deren Effizienz in UV-Reaktoren*. Brandenburg University of Technology.
- Loge, F. J., Emerick, R. W., Thompson, D. E., Nelson, D. C. & Darby, J. L. (1999). Factors Influencing Ultraviolet Disinfection Performance Part I: Light Penetration to Wastewater Particles. *Water Environment Research*, 71(3), 377-381. <http://www.jstor.org/stable/25045225>
- March, J. G., Gual, M. & Ramonell, J. (2005). A Kinetic Model for Chlorine Consumption in Grey Water. *Desalination*, 181(1-3), 267-273. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.04.007>
- Narkis, N., Armon, R., Offer, R., Orshansky, F. & Friedland, E. (1995). Effect of Suspended Solids on Wastewater Disinfection Efficiency by Chlorine Dioxide. *Water Research*, 29(1), 227-236. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(94\)E0117-O](https://doi.org/10.1016/0043-1354(94)E0117-O)
- Paraskeva, P. & Graham, N. J. D. (2002). Ozonation of Municipal Wastewater Effluents. *Water Environment Research*, 74(6), 569-581.
- Rojas, C. (2020). *La vereda de El Carmen* (01-27-2020) [fotografía].
- Schock, J. P. (1967). Sanitation in Recreation Areas. *Journal of Milk and Food Technology*, 30(11), 344-348. <https://doi.org/10.4315/0022-2747-30.11.344>
- Sisti, M., Albano, A. & Brandi, G. (1998). Bactericidal Effect of Chlorine on Motile *Aeromonas spp.* in Drinking Water Supplies and Influence of Temperature on Disinfection Efficacy. *Letters in Applied Microbiology*, 26(5), 347-351. <https://doi.org/10.1046/j.1472-765X.1998.00346.x>
- Sonntag, C. V. & Gunten, U. von. (2012). *Chemistry of Ozone in Water and Wastewater Treatment: From Basic Principles to Applications*. IWA Publishing.
- Ulloa Barreto, L. D. (2018). *Propuesta de alternativas de manejo adecuado para actividades productivas en la ruta caminera de la Vereda El Carmen-Reserva Buenavista, Villavicencio-Meta* [tesis de grado, Universidad Santo Tomás].

- Umweltbundesamt. (2015). *Organische Mikroverunreinigungen in Gewässern: Vierte Reinigungsstufe für weniger Einträge*. <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/organische-mikroverunreinigungen-in-gewaessern>
- U.S. National Library of Medicine. (2019). *Bromate*, CID=84979. Last access on 20 June 2019. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Bromate>
- Virto, R., Mañas, P., Álvarez, I., Condon, S. & Raso, J. (2005). Membrane Damage and Microbial Inactivation by Chlorine in the Absence and Presence of a Chlorine-Demanding Substrate. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(9), 5022-5028. <https://doi.org/10.1128/AEM.71.9.5022-5028.2005>
- Winward, G. P., Avery, L. M., Stephenson, T. & Jefferson, B. (2008). Chlorine Disinfection of Grey Water for Reuse: Effect of Organics and Particles. *Water Research*, 42(1-2), 483-491. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.07.042>
- Xu, P., Janex, M.-L., Savoye, P., Cockx, A. & Lazarova, V. (2002). Wastewater Disinfection by Ozone: Main Parameters for Process Design. *Water Research*, 36(4), 1043-1055. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00298-6](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00298-6)

Use of Agricultural Residues for a Sustainable Development in Meta Region: Rice Husk as Biogas Source

CHRISTIAN JOSÉ ROJAS REINA*
LAURA DANIELA OCHOA NOGUERA**
LAURA CATALINA GUTIÉRREZ NIÑO**

1. Introduction

One of the main economic activities and extractive industries in the region of Meta is rice production. After the harvesting process, a considerable amount of waste is produced. Rice husk is one of the main waste products, usually used as filler material for combustion purposes, which increases the carbon footprint in the region. However, an alternative used as co-substrate in biodigesters producing biogas in the region has not been explored. Because of this, the topic was included in a research project that will investigate different agricultural residues to see their viability as co-substrate with pig manure (another residue produced in the region). The idea with this is to produce higher amounts of biogas and thus increase the sustainable development of the region. Following the methodology established in the Standard Method No. 2720 B for the gas measurement and in

* Ingeniero químico de la Universidad de Los Andes de Venezuela. Magíster en Ingeniería Sanitaria de la Universidad Central de Venezuela. Doctor en Ingeniería Ambiental de la Universidad Técnica de Hamburgo (Alemania).
** Ingeniera ambiental de la Universidad Santo Tomás (Colombia).

VDI 3475 Standard for calculation of biogas production yield, biogas production was determined at laboratory scale using rural biodigester inoculums with local conditions.

The first results showed that rice husks as a co-substrate in the anaerobic process helps to increase the biogas production. Although its carbohydrate (hemicelluloses) content is high, which slows the fermentation process, the benefit in the process is undeniable. Further research is needed into local conditions to increase degradation of the substrate through pre-treatment or agitation, factors that can increase the yield of biogas production.

2. Agricultural situation in Colombia and Meta Region

Businesses dealing with livestock and crops performed particularly well in the country, with crops farms growing at a rate of 3.0 % and livestock around 5 %, according to the country's statistics agency DANE (USCS, 2017). The swine (pigs) business grew 10.4 % during the same period. In October 2015, the government launched the program "Colombia Siembra" to encourage the production of food. "Colombia Siembra" involves an investment of USD 500 million through 2018 and aims to boost agricultural growth by 6.2 %. It will address productivity and competitiveness of this sector by investing in machinery, irrigation and technology (Acero, 2018).

Following the ratification of the peace agreement in October 2016 between the government and the FARC guerrilla, the agricultural sector could be one of the major beneficiaries, as rural development has been identified as one of the government's priority sectors in the post-agreement era.

The Orinoquia Region, where the Universidad Santo Tomás-Villavicencio is located, is considered Colombia's last agricultural frontier, with the potential to serve as a food source for the entire country and the world. However, there are some problems: Forest clearing to create grasslands is a leading driver of deforestation in Orinoquia. Not only are these forests vital to mitigate climate change, they also

are home to hundreds of species of mammals and birds. Other threats include the drainage and conversion of millions of hectares of highly biodiverse native savannas, including flooded savannas, which are associated with high levels of methane emissions. The region belongs to the Orinoco river watershed that encompasses the region's vast grasslands and rainforests, and is the source for about one quarter of all running water in Colombia (World Bank, 2018).

To ensure that agricultural expansion is done sustainably in the Orinoquia, Colombia has collaborated with the World Bank's Biocarbon Fund Initiative for Sustainable Forest Landscapes (ISFL) to launch a Sustainable Integrated Landscape Program in the region. The USD 20-million grant from the BioCarbon Fund ISFL will be used to improve land-use planning, protect landscapes (including forests) and provide technical assistance for livestock, oil palm and commercial forestry businesses to make the transition to sustainable and competitive production models. Engaging the private sector is at the core of this program, including the promotion of public-private partnerships that support low-carbon practices such as renewable energies in agricultural practices.

3. Biomass resources and its utilization, present conditions and future outlook

Biomass energy has a positive outlook due to the large quantities of agricultural and forestry waste produced in the country. Important sources of agricultural waste are from banana plantations, rice, coffee, livestock and other tropical crops. The most suitable places to generate this form of energy are the departments of Santander, Norte de Santander and Valle del Cauca, the Caribbean Coast and the Orinoquia Region (Ministerio de Relaciones Exteriores, 2010).

There are some existing biomass projects, such as the Ingenio Mayagüez cogeneration plant, which became operational in 2011. Another experience is the one carried out by the Oil Palm Association of Colombia, which has already constructed four industrial biogas plants using oil palm residues as substrate. In the Orinoquia Region,

the biggest bioethanol plant in Colombia began operating in 2018 using sugar cane for the fermentation process. However, there is a lack related to energy production in rural areas, where rural biodigesters with manure are used.

According to the Energy Productivity and Economic Prosperity Index 2017, Colombia is currently the second country in Latin America to consume more units of energy than points of GDP, which shows the considerable growth in Colombia's energy demand. With that in mind, the Institute of Planning and Promotion of Energetic Solutions (IPSE) has subscribed memorandums with different institutions in the renewable energies field to increase the use of this type of energy in the country. To accompany this initiative, the Unit of Mining and Energetic Planning (UPME) included in the National Energetic Plan for 2050 a goal to increase the contribution of non-conventional renewable energy sources (photovoltaic, wind and biomass power) to 10 % of the country's total installed capacity by 2028 (is currently around 5 %) (IEA & IRENA, 2016).

4. Political and legal situation

The country aims to promote the Sustainable Development Goals (PNUD, 2015) to protect the environment from the actual industrial development. In the frame of the territorial planning, two goals are significant: SGD-11 (Sustainable Cities and Communities) and SGD-7 (Affordable and Clean Energy). Because of this, the Colombian government has created different initiatives to improve the use of alternative energy sources.

One of them is the Law 633 of 2000 (the Financial Support Fund for Energy Provision in Non-Interconnected Zones – FAER). This fund has proven to be an important tool project funding in areas not related to the national grid. The fund focuses on energy expansion using both renewable and non-renewable energy sources, and has become an important instrument for project funding in these regions. More recently, the Law 1665 of 2013 (the New Renewable Energy Law – REL) was adopted in April 2014. The REL approved the Statute of International Renewable Energy Agency (IRENA, 2009) as an attempt to promote

the adoption and sustainable use of all forms of renewable energy, including biomass, geothermal, hydropower, and ocean, solar and wind energy in the pursuit of sustainable development, energy access, energy security and low-carbon economic growth. Additionally, the Law 1715 of 2014 (the Fund for Non-Conventional Energies – FONAGE) was created. This fund helps to finance initiatives in non-conventional energy with public and international resources (Norton Rose Fullbright, 2017).

5. Alternative use of agricultural residues as bioenergy source

Because of the large agricultural activity in Colombia, there are large amounts of agricultural wastes than can be used for the energy production. Due to the geographical and climate conditions, the most suitable technology to produce energy for us is the use of anaerobic digestion.

Therefore, the most common biomass available (rice, soy, cacao, coffee, pineapple and other tropical fruits/crops residues from the region) will be combined with manure for the co-digestion to produce biogas. Other possible types as biomass are the ones generated by the production of oil palm, cacao, pineapple, soy and some natives plants from the Orinoquia Region, such as Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*) and Cacay (*Caryodendron orinocense*). The use of these residues have the following advantages:

- Improvement of the actual situation of the energy sources from biomass in rural areas, where other types of energy are unavailable or compromise the environment. Although it is used in certain amounts, it has not yet achieved its real potential for the region, due to the lack of research and promotion.
- Conservation of the biodiversity and natural resources due to the integration of sustainable energy sources into the agricultural system.
- Diversification of the energy sources and therefore energy security and reduction of the country's carbon footprint.

The research project titled “Determinación del potencial de biogás de diferentes sustratos para la codigestión anaerobia con excretas animales” looks for the usage of different substrates to increase its use in the production on biogas. Because of the important amount of residues produced in the rice industry, one of the main ones in Colombia, the first experiments related with the substrate were carried out using rice straw as co-substrate in biodigesters in the Meta region. As it can be seen in Figure 5.1, the Meta Region has an important role in the total amount of rice residues generated in Colombia, which is expected to be one of the most important extractive industries. The estimation for this residue is around 27 900 TJoules/year (UPME, 2016).

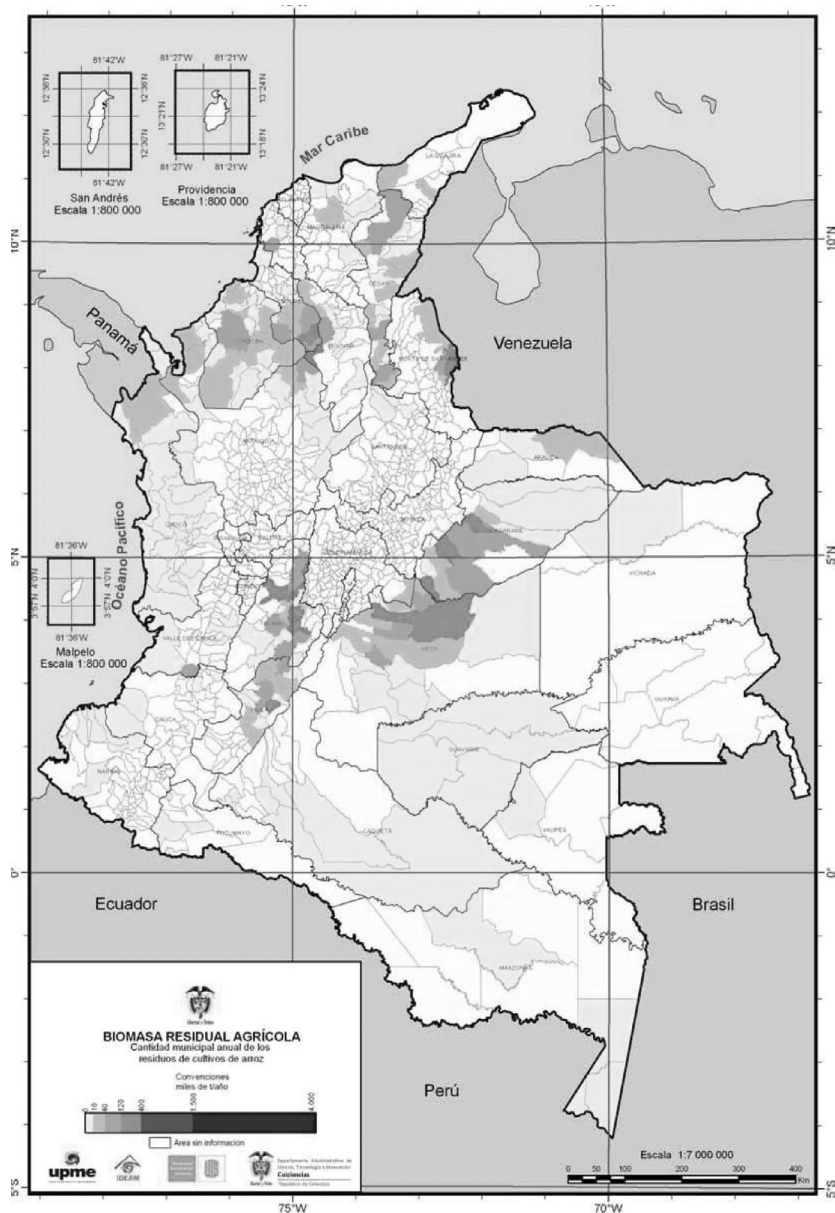
6. Experimental procedure to biogas potential of substrate: rice husk

One of the uses of the agricultural residues is the transformation of the organic matter in biogas. During the anaerobic process, organic matter transforms, in the absence of molecular oxygen, into a mixture of gases (biogas) and a stabilized effluent or mud with biofertilizing properties. “Biogas consists mainly of methane (CH_4), carbon dioxide (CO_2) and small proportions of other gases such as H_2 , H_2S , NH_3 , N_2 and water vapor” (Velásquez, 2013). This process is carried out in fermenters or bioreactors, where a large number of microorganisms that work in series or in parallel-series degrade organic matter in successive stages to produce biogas. A description of such process is presented in Chapter 3 of this book.

The production of biogas from substrates of natural origin is directly related to the chemical characteristics of the substrate. Therefore, for this investigation it is important to recognize individually the characteristics of each substrate, in order to establish production hypotheses. Specifically for the rice, this residue has an abrasive consistency and its color varies from reddish brown to dark purple. Its density is low, so when stacking it occupies large spaces. The specific weight is 125 kg/m^3 , that means, 1 ton occupies an area of 8 m^3 in bulk volume (Varon, 2005). Table 5.1 summarizes the average chemical composition

of this residue and it shows the high proportion of carbon and oxygen, an indication of the organic matter.

Figure 5.1. National production of residual biomass generated by the rice industry in Colombia



Source: UPME (2010).

Table 5.1. Average chemical composition of rice husk

Component	%
Carbon	39.1
Hydrogen	5.2
Nitrogen	0.6
Oxygen	37.2
Sulfur	0.1
Inerts	17.8

Source: Varon (2005).

6.1 Experimental design

The determination of the biogas potential of substrate implies testing in the laboratory following the ASTM 2720 B (APHA, 1989). The experimental assembly was carried out taking into account the principle of operation of the Batch type reactors (600 ml). They were installed without agitation and with a single feed load, as presented in Table 5.2, which shows each one of the reactors with the different proportions of substrates. During the monitoring time, atmospheric pressure, daily ambient temperature and relative humidity were taken into account, with data obtained from the meteorological station of the Vanguardia-Villavicencio Airport. The reactors were in duplicate, one with NaOH to absorption of CO₂ and estimate the methane produced.

Table 5.2. Description of the experimental design using batch reactor following the ASTM 2720 B

Batch-Reactor	Description	Manure	Inoculum	Rice husk
1	Control		400 ml	
2	Control + NaOH		400 ml	
3	Manure + inoculum	200 ml	200 ml	
4	Manure + inoculum + NaOH	200 ml	200 ml	

Batch-Reactor	Description	Manure	Inoculum	Rice husk
5	Manure + inoculum + rice husk	200 ml	200 ml	1.0 g
				1.5 g
				2.0 g
				2.5 g
6	Manure + inoculum + rice husk + NaOH	200 ml	200 ml	1.0 g
				1.5 g
				2.0 g
				2.5 g

Source: Authors.

Once the different batch-reactors were prepared with the substrate, they were located in an incubator at 37 °C (mesophilic behavior); and the daily biogas/methane production was measured for a period of 16 days (Figure 5.2).

Figure 5.2. Aspect of the batch-reactors before the final disposition in the incubator at 37°C



Source: Authors.

6.2 Biogas volume estimation

To normalize the obtained volume of biogas, it was applied the mathematical expression given by the German Engineering Manual VDI-4630 (2006), which is based on the standardized volumetric measurement (APHA, 1989).

$$V_o = V_1 * \left(\frac{(P_1 - P_w) * T_o}{(P_o * T_1)} \right) \quad \text{Equation 1}$$

Where,

V_o : Normalized biogas volume (m^3)

V_1 : Measure volume at temperature 1 (T_1) and pressure 1 (P_1)

P_1 : Pressure at which the gas was measured (mbar)

P_w : Steam water pressure at temperature T_1 (mbar)

T_1 : Temperature at which the gas was measured ($^{\circ}K$)

P_o : Normal pressure (1013.25 mbar)

T_o : Normal temperature (273.15 $^{\circ}K$)

6.3 Biogas potential

To calculate the obtained biogas potential, it was applied the mathematical expression given by the German Engineering Manual VDI-4630 (2006) during the experimental time for the obtained data.

$$P_e = \frac{VB}{M_s} \quad \text{Equation 2}$$

Where,

VB : Accumulated biogas production during the fermentation time (ml)

M_s : Substrate mass aggregated to the batch-reactor (g vs).

7. Feasibility of the utilization of rice husk as biogas co-ferment

The results regarding the percentage of volatile solids and humidity for the rice husk and pig manure used for the research project indicate that their characteristics are suitable for the anaerobic degradation process (Table 5.3). The values of the pig manure are in the range expected for this kind of substrate. The rice husk has 79.80 % of degradable matter based on volatile solids and a percentage of humidity of 19.38 %, values that are within the permissible range of no more than 30 % humidity, according to Agustin *et al.* (2007). Therefore, pig manure and rice husk can be considered as suitable substrates for energy conversion.

Table 5.3. Composition of the rice husk as the total solids content of the substrate

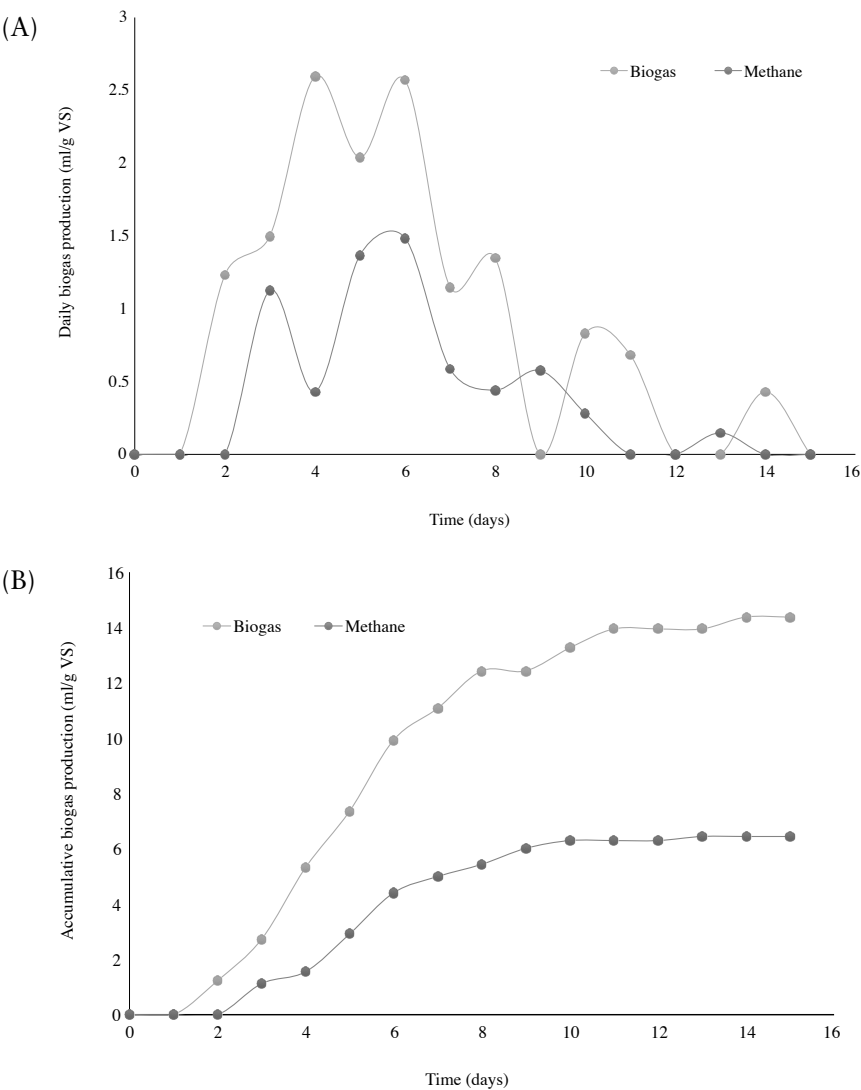
Substrate	Total solids (%)	Volatile solids (%ST)	Humidity (%)	TOC (%ST)	P (%ST)	S (%ST)
Rice husk	81.80	79.80	19.38	48.91	0.00056	0.011
Pig manure	37.90	56.99	58.72	1,962.5	0.609	0.307

Source: Authors.

The daily behavior of biogas and methane production for the main substrate pig manure, usually used in rural biodigesters in the Meta Region, is presented in Figure 5.3. In the first days, the easy degradable organic matter produces biogas/methane production peaks (Figure 5.3 (A)), after that the daily production is low.

This indicates that most of the organic matter was consumed in the fermentation process. The highest values were presented between days 4-6, with a total production of 7.20 ml/g vs.

Figure 5.3. Daily production curves (A) and accumulated production curves (B) for the substrate pig manure (third setup: 200 ml manure)



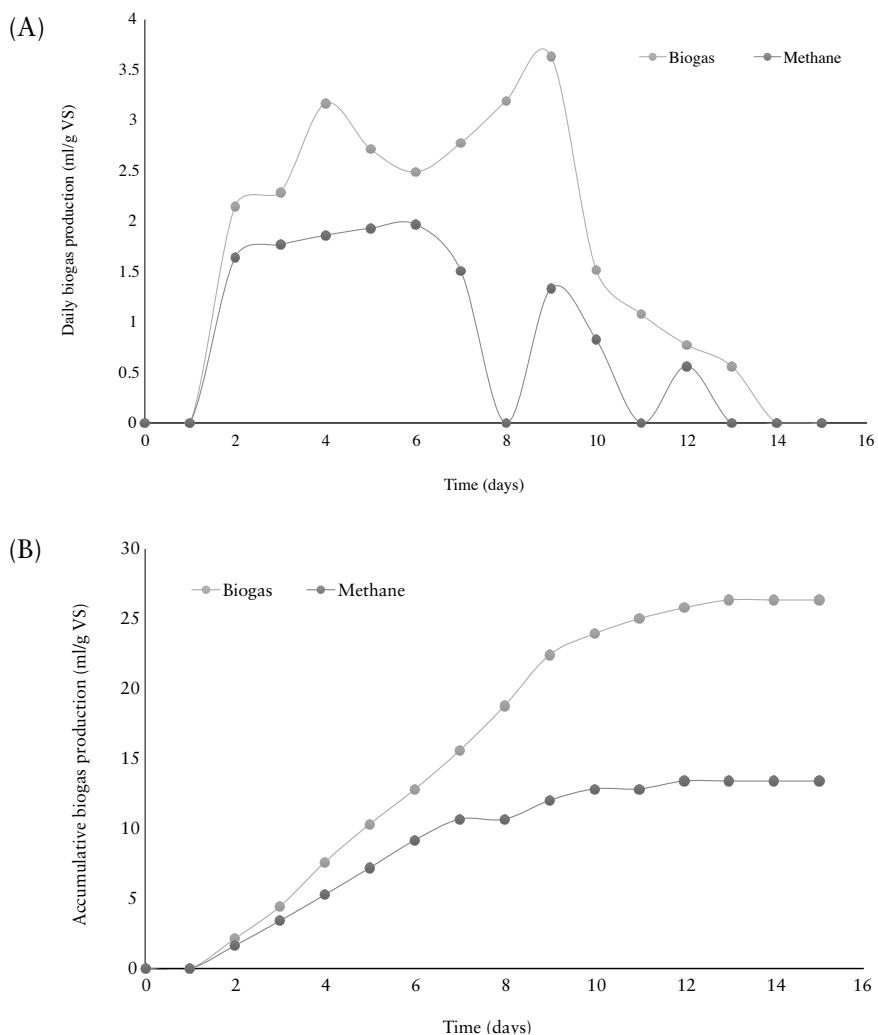
Source: Authors.

With the results of the co-substrate used, rice husk, the daily production curve prolonged until day 9 (Figure 5.4 (A)). This probably is caused by the higher content of carbohydrates of this kind of residues,

which are commonly slower to digest, due to the presence of lignin. The highest production peak was observed at day 9 with a value of 3.63 ml/g vs.

The relation biogas/methane obtained from the accumulative curves of gas production gave the percentage of methane for the substrates.

Figure 5.4. Daily production curves (A) and accumulated production curves (B) for the substrate rice husk (third setup: 2.5 g rice husk)



Source: Authors.

There are two main components for the biogas: methane and carbon dioxide. Traces of others chemical compounds, such as H_2O , H_2S and H_2 , can be also be found. The methane fraction can oscillate 50-70 % depending of the substrate (FAO, 2011). The results in this research project are 44-57 % of methane, value that is defined by the proportion of rice husk in the start mixture in the reactor. The higher the proportion of rice husk, the higher the percentage of methane. These values are the expected ones for agricultural residues used normally for biogas digestion as corn and silage residues (Rojas, 2011).

The yield of biogas production of different substrates that constituted the mixture in a biodigester was calculated individually. For the manure of pigs this value was 10.80 ml biogas/g vs and for the rice husk the value was 8.60 ml biogas/g vs in the local conditions that were reproduced at the laboratory. It should be noted that the needed volume of manure to produce these values is very high (200 ml), in comparison with the amount of rice husk aggregated in the reactor (1-2.5 g) for a total liquid volume of 400 ml (200 ml of inoculum). Because of the combined substrates (manure + rice husk), the obtained yield of biogas production was 19.41 ml biogas/ g vs. These results are influenced by the local conditions: Rice husk properties, temperature and operation conditions. The rice husk used in this study has a higher humidity, volatile solids and TOC in comparison with other locations (Velásquez, 2013; Nguyen *et al.*, 2016). The experiments carried out used fresh rice husk without agitation. These factors can also affect the biogas production. Therefore, it is necessary to investigate the biogas production using agitation and with different pre-treatment to help with the biodegradation of the hemicelluloses contained in the rice husk. The inhibition in the process should also be investigated, due to the ammonium concentration. The manure produced in the region has levels that are over the limit and create inhibition of the process ($> 2,000 \text{ mg/L N-NH}_4$).

8. Conclusions

The Meta Region has an important amount of agricultural residues that can be converted in biogas. Though similar substrates are used

in the anaerobic process, it is necessary to make experimental testing in local conditions to check the feasibility of its use in local biodigesters. For the case presented here (rice husk), it is feasible its utilization to generate renewable energy in form of biogas. Rice husk is one of the more relevant residues generated from the agricultural activities in Meta. This substrate is compatible with the main substrate usually used currently in the region: Manure. This liquid substrate comes from another of the main activities (husbandry: pigs and cows) that are affecting the natural areas and rivers of the region. The combination of both substrates can double the yield of biogas production as if only manure were used, for a value of 19.41 ml biogas/g vs. This co-digestion not only increases the biogas production, it also transforms the manure, minimizing the contamination of the water sources in the region, because the manure is discharged without treatment in soils and water. After its digestion inside the reactor, the resulted liquid effluent can be used as organic fertilizer with less impact to the environment.

9. References

- Acero, J. (2018). *Colombia: Agricultural Sector*. International Trade Administration. <https://www.export.gov/article?id=Colombia-agricultural-sector>
- Agustín Valverde, G., Bienvenido Sarria, L. & Monteagudo, J. (2007). Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz. *Scientia et Technica*, (37), 255-260.
- American Public Health Association (APHA). (1989). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater: Volumetric Method 2720 B*. APHA; American Water Works Association; Water Pollution Control Federation.
- International Energy Agency (IEA) & International Renewable Energy Agency (IRENA). (2016). *Energy Plan 2050 (Plan Energético Nacional Colombia: Ideario Energético 2050)*. UPME. <https://www.iea.org/policiesandmeasures/pams/colombia>
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2009). *Statute of the International Renewable Energy Agency*. IRENA.
- Legatum Institute. (2017). *Prosperity Index 2017 Report*. Legatum Institute. <https://li.com/reports/2626-2/>

- Ministerio de Relaciones Exteriores. (2010). *Colombia, A Country with Energy Diversity*. Cancillería de Colombia. www.cancilleria.gov.co/sites/default/files/DocEstrategicos/EnergiaWebEn.pdf
- Nguyen, V. H., Topno, S., Balingning, C., Nguyen, V. C. N., Röder, M., Quilty, J., Jamieson, C., Thornley, P. & Gummert, M. (2016). Generating a Positive Energy Balance from using Rice Straw for Anaerobic Digestion. *Energy Reports*, (2), 117-122.
- Norton Rose Fullbright. (2017). *Renewable Energy in Latin America. Technical Report*. Norton Rose Fullbright.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2015). *Objetivos de Desarrollo del Milenio. Informe de 2015*. ONU. <https://www.undp.org/content/dam/colombia/docs/ODM/undp-co-odsinformedoc-2015.pdf>
- Rojas, C., Uhlenhut, F., Schlaak, M., Borchert, A. & Steinigeweg, S. (2011). Simulation des anaeroben Prozesses bei der Biogasferzeugung. *Chemie Ingenieur Technik*, 83(3), 306-321.
- UPME. (2010). Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia. UPME; IDEAM; Colciencias; UIS.
- UPME. (2018). *Atlas biomasa residual*. <http://upmeonline.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=31e8d575328842748672626929bdc6b6>
- USCS. (2017). *U.S. Commercial Guides: Colombia*. U.S. & Foreign Commercial Service; U.S. Department of State.
- Varon, J. (2005). Diseño, construcción y puesta a punto de un prototipo de quemador para la combustión continua y eficiente de a cascarilla de arroz. *El Hombre y la Máquina*, (25), 128-135.
- Velásquez, L. M. (2013). *Digestión anaerobia de residuos de la agroindustria arroceras cubana para la producción de biogás* [tesis de doctorado, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas].
- World Bank. (2018). *Climate-Smart Farming in Colombia's Last Agricultural Frontier*. <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2018/03/16/el-enfoque-de-la-agricultura-climaticamente-inteligente-la-ultima-frontera-agropecuaria-de-colombia>

Epílogo

Los cambios económicos ocurridos en el departamento de Meta en los últimos veinte años han reconfigurado las zonas urbanas y los perímetros rurales, de tal manera que las relaciones entre los municipios requieren ser abordadas desde una perspectiva que vincule al ordenamiento territorial con los conflictos socioambientales. Esto ha sido evidente, por ejemplo, en el eje Villavicencio-Restrepo, donde las dinámicas socioambientales se articulan a través del turismo y han modificado las características del territorio. De acuerdo con los primeros resultados de la investigación del Grupo GESTAR realizada por Romero¹, se evidencian cambios en el componente ambiental para el periodo 2000-2018, como disminución del bosque de galería y ripario, de bosque natural y de áreas vegetales en las márgenes de los ríos. Así mismo, este desarrollo ha ocasionado un aumento de la predialización, a pesar de que la población de Restrepo ha mantenido un crecimiento estable. Se presentan procesos como periurbanización, contraurbanización y rururbanización, los cuales afectan negativamente el suelo rural, fragmentan las áreas naturales y modifican los usos del suelo, producto de las actividades asociadas al turismo sostenible y agroturismo.

Analizando los resultados de la investigación de Claudia Yolima Devia² en el marco de sus estudios doctorales, al evaluar las dinámicas que han transformado la ciudad de Villavicencio en el último siglo, estos cambios se han visto en función de las prácticas extractivistas de la región. Estas prácticas han configurado ejes de desarrollo como: la producción arroceras, la actividad subterránea del narcotráfico y la

1 Romero Novoa, J. A. (2019). *Ciudad bisagra: Relación entre los regímenes de desarrollo y el proceso de configuración territorial de la ciudad de Villavicencio (Colombia), entre 1936 y 2019*. Documento de Trabajo. Doctorado en Estudios Territoriales. Universidad de Caldas.

2 Devia Acosta, C. Y. (2018). *Urbanización, red urbana y extractivismo. Una visión del caso de Villavicencio (Meta, Colombia)*. FCT/UNESP.

extracción petrolera en el siglo XXI. Entre estos cambios la urbanización es uno de los primeros efectos observados en concordancia con el desarrollo económico, efecto que se vio acentuado con la nueva vía Bogotá-Villavicencio. Esto ha ocasionado un aumento de la construcción y el uso de la segunda vivienda, posicionando a Villavicencio como foco turístico de la metrópoli, además de la dispersión de los usos de la tierra y del crecimiento demográfico por una débil articulación con la planificación y el ordenamiento territorial.

Como consecuencia de lo anterior, se observa mayor presión sobre las áreas naturales del departamento dado el crecimiento acelerado de la infraestructura; sin embargo, en pro de un desarrollo más sostenible, las actividades relacionadas con la producción de biocombustibles en el departamento buscan convertirse en una alternativa socioespacial y económica en el territorio. En esta área, la región tiene un potencial aún por explorar, en el cual las investigaciones de Peters *et al.*³ nos ofrecen una panorámica de un entorno externo, en este caso Baja Sajonia-Alemania, que presenta similitudes con el entorno local al ser una región agrícola con actividad industrial y zonas naturales protegidas. Aquí se puede observar cómo se ha aprovechado la gran cantidad de residuos agrícolas para la producción de bioenergía, disminuyendo el impacto de estos residuos sobre las zonas naturales cercanas y al mismo tiempo aportando a una matriz energética autosostenible en la región. Las investigaciones del Grupo de Estudio para Uso de la Biomasa ya han comenzado con las primeras investigaciones al respecto, en las cuales la cascarilla de arroz, residuo de una de las grandes actividades extractivas de la región (producción arrocería), pudiera ser usada para la producción de biogás dentro de un desarrollo más sostenible.

Adicionalmente, se observa que con tecnología se pueden tomar medidas a pequeña escala para disminuir la presión del creciente turismo sobre las áreas naturales. Es el caso del análisis presentado por Bettinger *et al.*, en el presente libro, donde se aprecia que no son

3 Peters, L., Uhlenhut, F., Biernacki, P. y Steinigeweg, S. (2018). Status of Demand-Driven Biogas Concepts to cover Residual Load Rises. *ChemBioEng Reviews*, 5(3), 163-172. <https://doi.org/10.1002/cben.201800004>

necesarias estrategias complejas, sino prácticas y sencillas, como el sistema sanitario autosostenible propuesto para disminuir el impacto de las visitas en los espacios naturales protegidos.

La transformación de las estructuras espaciales y las dinámicas económicas en el territorio definen una evolución espacial codependiente al desarrollo en las condiciones descritas antes, con sistemas relativamente fuertes y persistentes que se dinamizan ante el auge de las actividades relacionadas con la industria turística. El desarrollo desde lo local se define según Greffe⁴, entonces, como un conjunto sistemático de procesos diversificados, dinámicos y enriquecidos desde las actividades económicas y sociales sobre el territorio, y se referencia en diferentes acciones territoriales que permiten el estudio, el análisis y la valoración de nuevas dinámicas locales.

JORGE ALESSANDRI ROMERO NOVOA, MSc.

Candidato a doctor en Estudios Territoriales
Coordinador Grupo de Estudio GESTAR
Facultad de Ingeniería Ambiental
Universidad Santo Tomás - Villavicencio

4 Greffe, X. (2018). *Descentralizar en favor de empleo. Las iniciativas locales de desarrollo*. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social.



Esta obra se editó en Ediciones USTA,
Departamento Editorial de la Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio

Se usó papel propalcote de 300 gramos para la carátula y
papel Libros beige de 70 gramos para páginas internas.

Tipografía de la familia Sabón.

Impreso por DGP Editores S.A.S.

Enero de 2021.

EL RÁPIDO DESARROLLO DE LA REGIÓN ORINOQUÍA, comprendida en el área del departamento del Meta, ha creado afectaciones socio-culturales y ambientales, que al ser abordadas desde la perspectiva del desarrollo socioambiental permite ofrecer una visión más amplia de las posibles soluciones para mejorar el impacto del desarrollo en la región. Adicionalmente, el libro presenta soluciones técnicas que se han desarrollado en el extranjero (Alemania), pero en entornos similares a la región del Meta, para proteger áreas naturales protegidas. Este texto está orientado a estudiantes y profesionales interesados en las consecuencias del desarrollo humano en el departamento del Meta, y sus posibles soluciones para mitigar el impacto ambiental.

Borrador



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
VILLAVICENCIO



978-958-782-437-7