

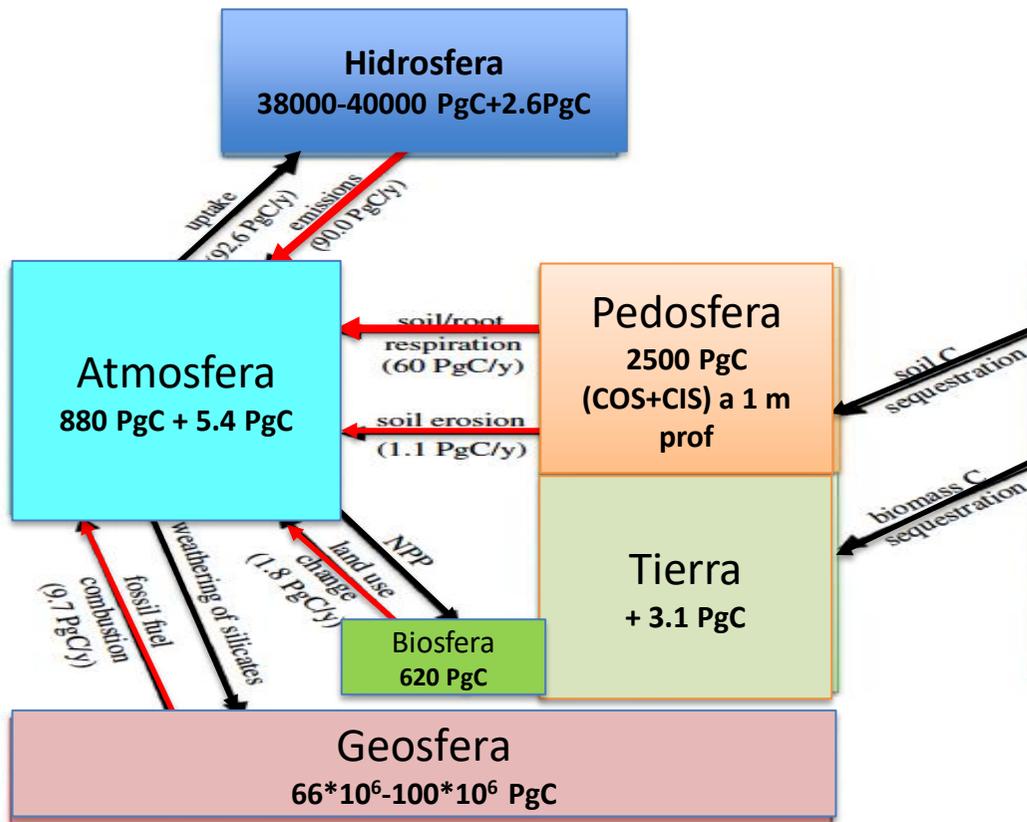
# La importancia del suelo y una perspectiva hacia la adaptación al cambio climático

Lucy Mora Palomino  
Instituto de Geología- UNAM  
25 de agosto 2022

# Contenido

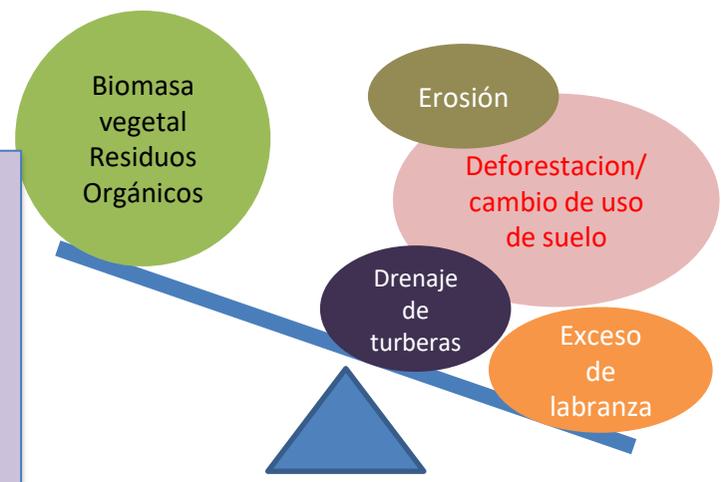
- Antecedentes del ciclo C del suelo en el cambio Climático
- El potencial de aporte de C al suelo a partir del uso de residuos orgánicos
- Característica de los residuos: Ventajas y Desventajas
- Mecanismos de estabilización de C en el suelo con el uso de residuos
- Reflexiones sobre el potencial de uso de residuos en Colombia
- Conclusiones

# La importancia del C del suelo en el cambio climático



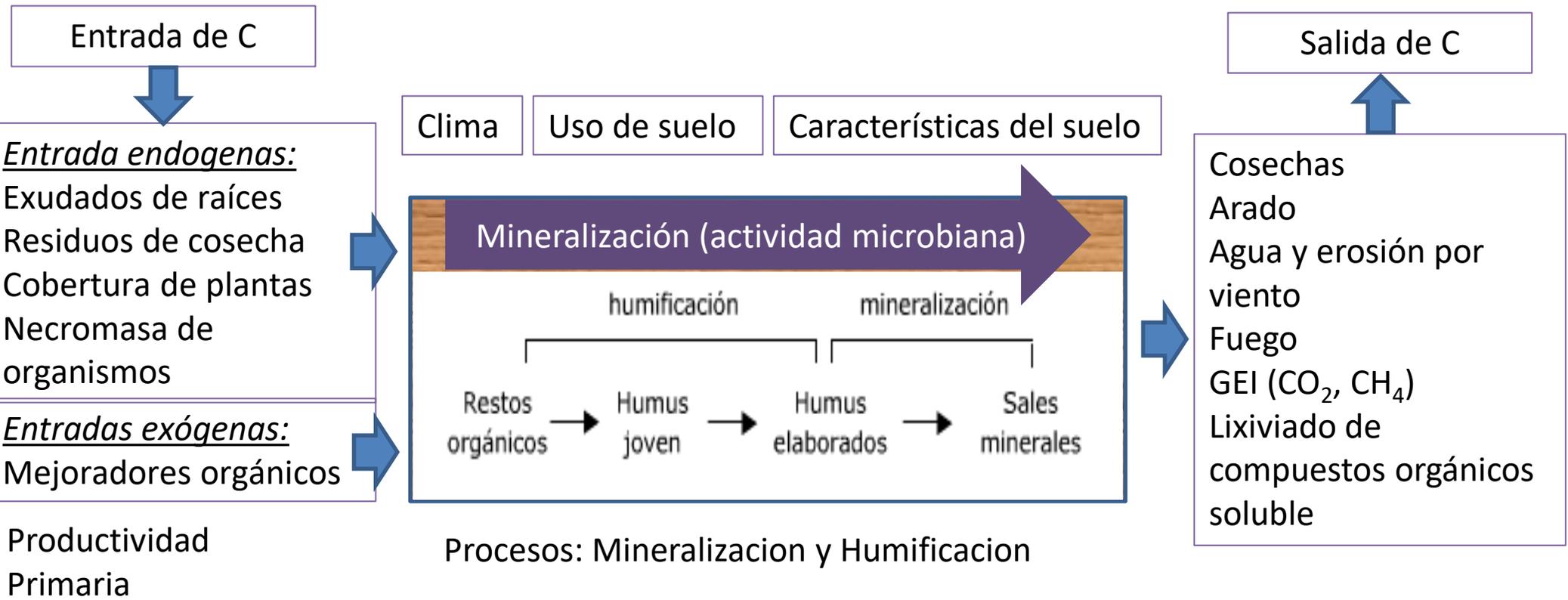
**Gestión antropogénica de la tierra de la biosfera terrestre, mediante el uso prudente de la tierra y la gestión sostenible del suelo (intervención política)**

Pg= Pentagramo  
Pg= 10<sup>15</sup> g C  
Pg= 1 billion ton<sup>3</sup> de C



*El papel de suelo y el ciclo global del carbón*  
Fuente: Lal et al 2021

# Factores que determinan el almacen y flujos de carbono del suelo



# Etapas de captura y almacenamiento de C en el suelo



**cenicaña**

Centro de Investigación de la  
Industria de Azúcar de Colombia

## 1 Fotosíntesis

Clima  
Disponibilidad de Nutrientes del suelo



## 2 Transferencia del C. biomasa a la MOS

**Mineralización**

**Humificación**

Calidad de la biomasa  
(Relación C/N)  
Actividad Microbiana  
Humedad  
Temperatura  
Disponibilidad de  
nutrientes

C/N < 10 Fácil degradación  
C/N > 30 Lenta degradación

# Etapas de captura y almacenamiento de C en el suelo

1 **Fotosíntesis**



2 **Transferencia del C.biomasa a la MOS**

3 **Estabilización del C-MOS**

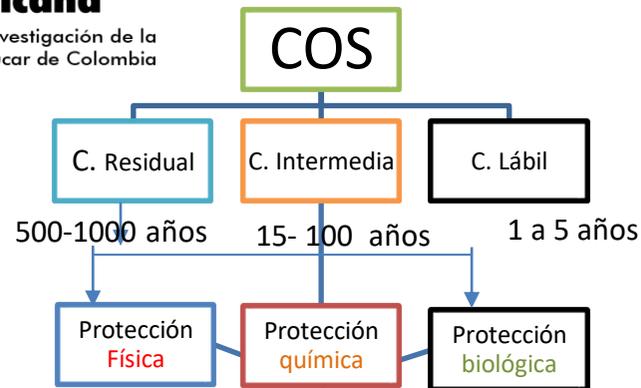
Tiempo de Residencia C en el suelo



**cenicaja**

Centro de Investigación de la Industria de Azúcar de Colombia

COS: Carbono Orgánico del Suelo



El tiempo de residencia del COS depende de los mecanismos por los cuales el C está protegido en la materia orgánica

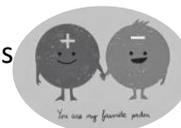
Protección Física en el interior de los agregados



Traslación de la MOS de Hz superficiales a Hz subsuperficiales

Protección química

Formación de complejos organo-minerales



Accesibilidad del C al ataque microbiano

## Estrategias de manejo de los sistemas para mantener un balance positivo de C

Factores de pérdida C de la MOS

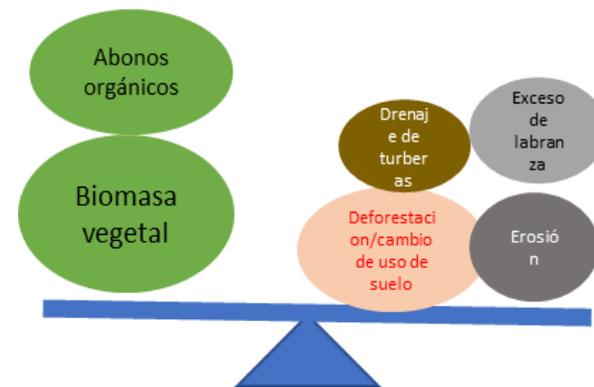


**cenicaña**  
Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

## Sistema de Manejo de los factores limitantes

El objetivo de un manejo de suelos para el secuestro de carbono es crear un balance positivo o igual entre la entrada y las salidas .

Incremento la producción primaria/biomasa del suelo



**Incorporación de C a partir de enmiendas orgánicas**

# Aporte de Carbono al suelo a partir enmiendas orgánicas



**cenicaña**

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

Tipo de residuos

Residuos

R. Urbano

C biogénico + C  
Fósil

R. Rural

C biogénico

R. Municipales

R. Industriales

Origen  
Animal

Origen  
vegetal

Agua residual doméstica

Lodos de depuración

Residuos biodegradables de parques y jardines y alimentos

Agua residual industrial

Lodos primarios provenientes de industrias de alimentos y bebidas (Vinazas)

Estiércoles y purines de animales

Residuos de cultivos y biomasa forestal (aserrín y otros)



## Calidad de las enmiendas



**cenicaña**  
Centro de Investigación de la  
Caña de Azúcar de Colombia

### Residuos de Cosechas, jardines y residuos urbanos (Bioresiduos)

Los bioresiduos contienen una mezcla de diferentes materiales orgánicos. Se caracteriza por tener un Fracción orgánica Lábil (FO) + La Fraccion Vegetal sin transformar (FV-Poda)

	FO	FV-Poda
Humedad	Alta ( 75 a 85%)	Baja (20 a 40%)
Materia orgánica	75 a 85% (80 %C )	80% (33 % C)
Nitrógeno orgánico	5,50%	1,20%
Relación C/N	17	32
Densidad	0,6 a 0,8 t/m <sup>3</sup>	0,3 a 0,4 t/m <sup>3</sup> (triturada)
Mal olor	si	no

Fuente : Francesc Giró, Compostarc, 2007



#### Ventajas:

Se adiciona MO de calidad semejante a la biomasa vegetación natural

#### Desventajas:

Requieren manejo (secado o separación)

Ejemplo de la composición de la paja de diferentes residuos de cosecha



Origen de la paja	C (%)	C/N	N(%)
Trigo	46.7	28	1.65
Trigo	42.25	77	0.55
Maíz	42.7	40	1.08
Maíz	40.8	27	1.43
Min-Max	40.8-46.7	28-77	0.55-1.08

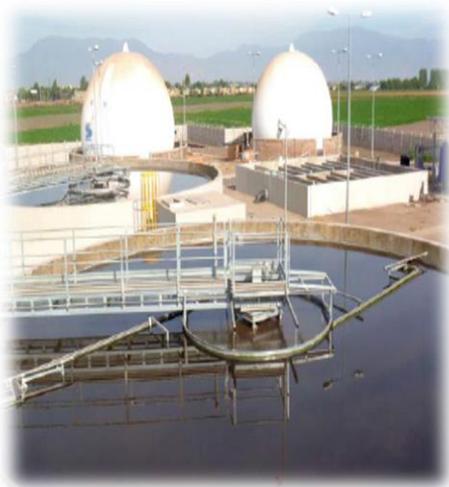
Comparing straw, compost, and biochar regarding their suitability as agricultural soil amendment  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141607>

El aporte y transferencia de C al suelo depende del origen del residuo

## Lodos residuales y de depuración

Mezcla de agua y sólidos separada del agua residual urbana o industrial

Son producto de la  
tratamientos biológicos  
(digestión anaerobia,  
estabilización aerobia y  
compostaje)



Reduce el contenido de  
agua  
Estabiliza la M.O  
Reduce patógenos

Contienen mucha agua más de un 95% de agua  
Contienen diversidad de materias suspendidas o disueltas.

### Ventajas

Alta contenido de M O, N, P y K y otros macro  
micronutrientes

### Desventaja

Aportan contaminantes:

HAPS y halogenados

Metales pesados: Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn

Patógenos

Plaguicidas

Emergentes (antibióticos, fármacos)

También emiten GEI (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O)

## Aporte de C y N de los lodos residuales y de depuración

### Propiedades de lodos residuales de depuración

Parámetro	Valor
pH	6.8 a 7.2
CE	2490 a 11340 uS/cm
Solidos sedimentables	1.58 a 3 % v/v
M.O	26.5 a 41.2 %
N total	4.2 a 6.97 %
C org.	18-23.9 %
Relación C/N	2.86 a 5.7

### Características de los lodos residuales de la vinaza

Tabla 10. Propiedades físicas y químicas de la vinaza.

Parámetro	Vinaza cruda
pH	4.5
CE(mS.cm <sup>-1</sup> )	23.9
C total (%)	35.3
N total (%)	1.9
Ctotal (mg.L <sup>-1</sup> )*	30150
Corg (mg.L <sup>-1</sup> )*	30113
Cinorg (mg.L <sup>-1</sup> )*	0
Al (mg.L <sup>-1</sup> )	7.9
As (mg.L <sup>-1</sup> )	0.11
B (mg.L <sup>-1</sup> )	0.36
Ba (mg.L <sup>-1</sup> )	1.5
Be (mg.L <sup>-1</sup> )	<LOD
Cd (mg.L <sup>-1</sup> )	<LOD
Co (mg.L <sup>-1</sup> )	0.15
Cr (mg.L <sup>-1</sup> )	<LOD

Relación C/N= 18.8

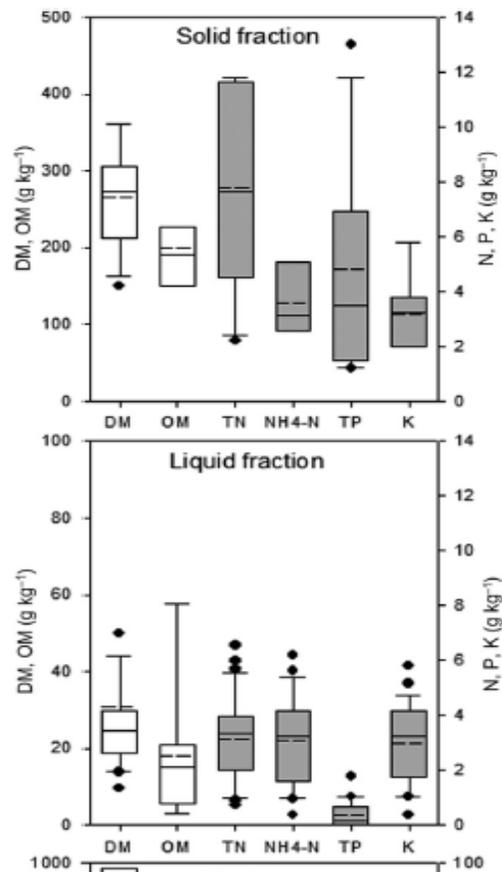
## Estrategias de manejo de residuos orgánicos para conservar su calidad

Los lodos residuales, estiércoles y purines contienen alto contenido de agua

Esta condición aumenta el riesgo de pérdida de CO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> por volatilización ≈ emisión de GEI



## Separacion Sólido-líquido



Producto	Ventajas	Desventajas
Separación Sólido (fibra)-Líquido	Concentra el contenido de MO Disminuye el contenido de agua	La eficiencia de separación depende del sistema
Fracción sólida	Bajo contenido de MO y se puede manejar en los aspersores	Los metales pesados son concentrados en los sólidos
Fracción líquida	Aumenta el contenido de N disponible como fertilizante	Riesgo de volatilización de NH <sub>3</sub>

Características de los Estiercol manejado por procesos de separacion solido-líquido

## Composteo



Oxidación biológica

Hongos

bacterias

pH  
Humedad



C Lábil

libre de patógenos y sustancias tóxicas

## Compost

*Las propiedades de la composta están relacionados con el material originario*

C/N

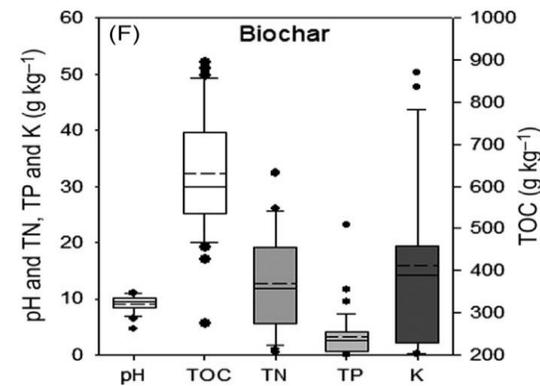
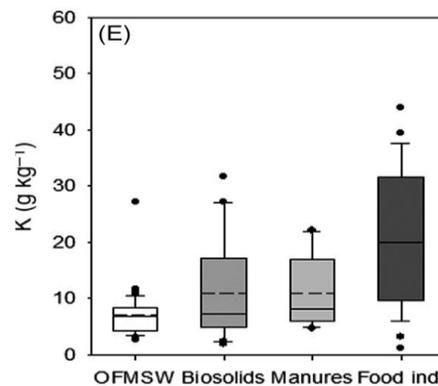
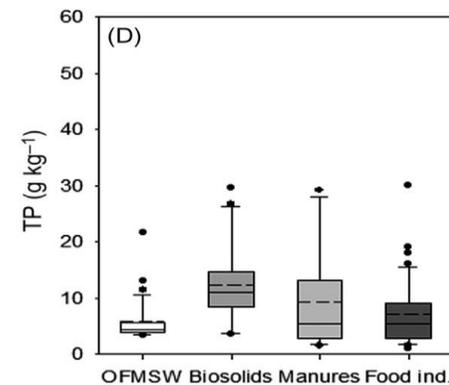
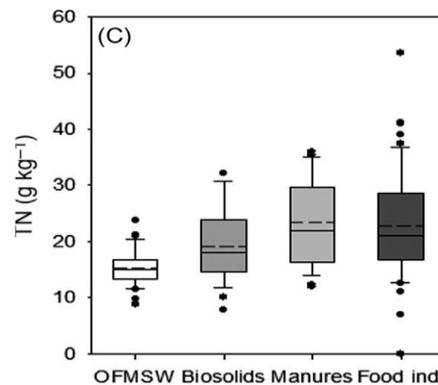
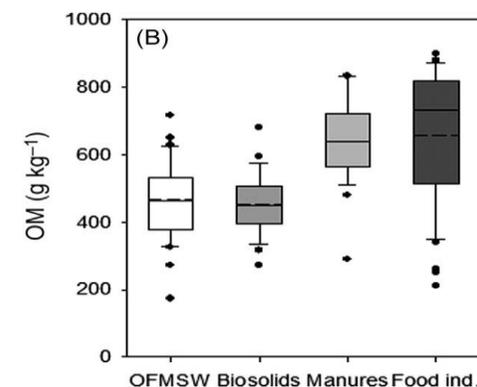
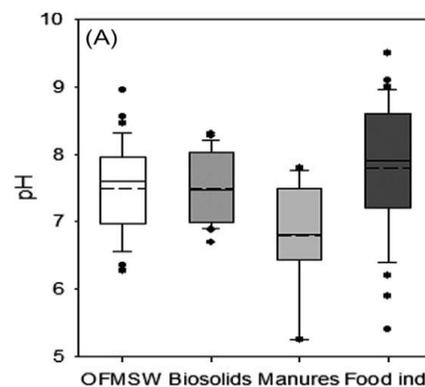


Degradación



## Composteo

Producto	Ventajas	Desventajas
Composteo y vermicomposteo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Concentra el contenido de MO,</li> <li>Parcialmente humificado</li> <li>Disminuye el N disponible</li> <li>Disminuyen los patógeno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Perdida de N durante la descomposición</li> <li>Liberación de GEI durante el proceso</li> </ul>



## Transformación de residuos a Biocarbón

El biocarbón es un material sólido carbonoso y poroso producto de *la pirolisis* de la biomasa (diferente origen).

La biomasa se transforma en formas estables de C, de tal forma que el C no puede regresar a la atmosfera

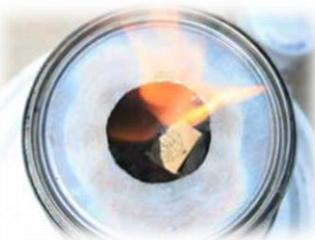
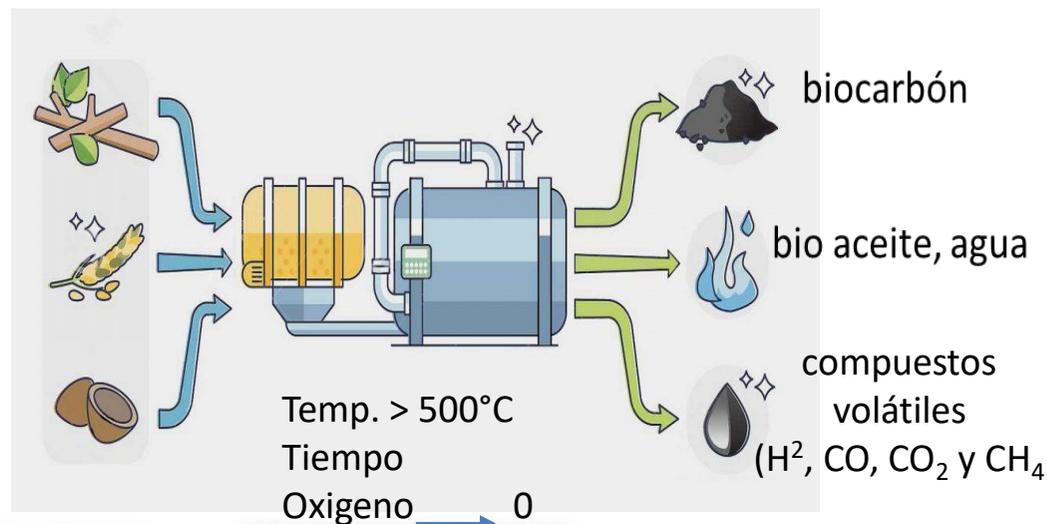
La *pirolisis* es un proceso de descomposición térmica de desechos bajo condiciones de oxígeno reducido o ausencia de este.

Esta técnica se propone como una estrategia de manejo de residuos sólidos, *para reducir el volumen y estabilizar el C*

Manejada a diferentes escalas

Pirólisis lenta

Pirólisis rápida



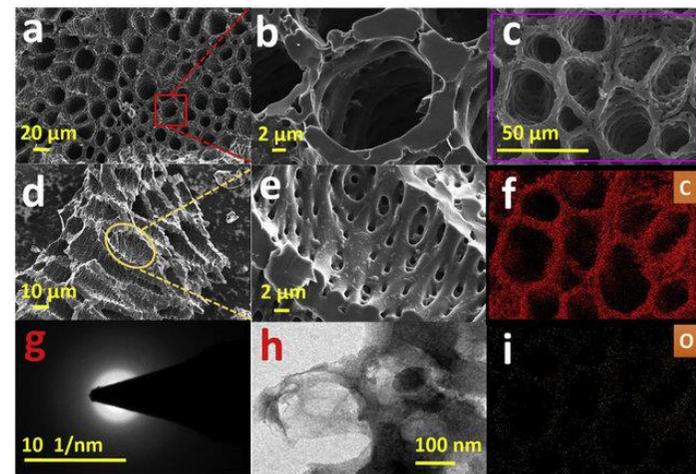
El manejo de residuos a través de elaboración de biocarbón de residuos, permite estabilizar el C en formas no disponibles.

Residuo	celulosa	lignina	hemicelulosa	C	N
Cacahuete	34-45	27-33		53.54±5.2	1.28±0.14
Biocarbón Cacahuete				73.44±13.9	0.83±0.14
Almendras	50.7	20.4	20.4	45.6	<0.5
Biocarbon de almendras				71.8	0.45

*Cambios en la composición elemental de residuos orgánicos después del proceso de biocarbón de residuos de la cascara de nueces. Picard et al. 2020*

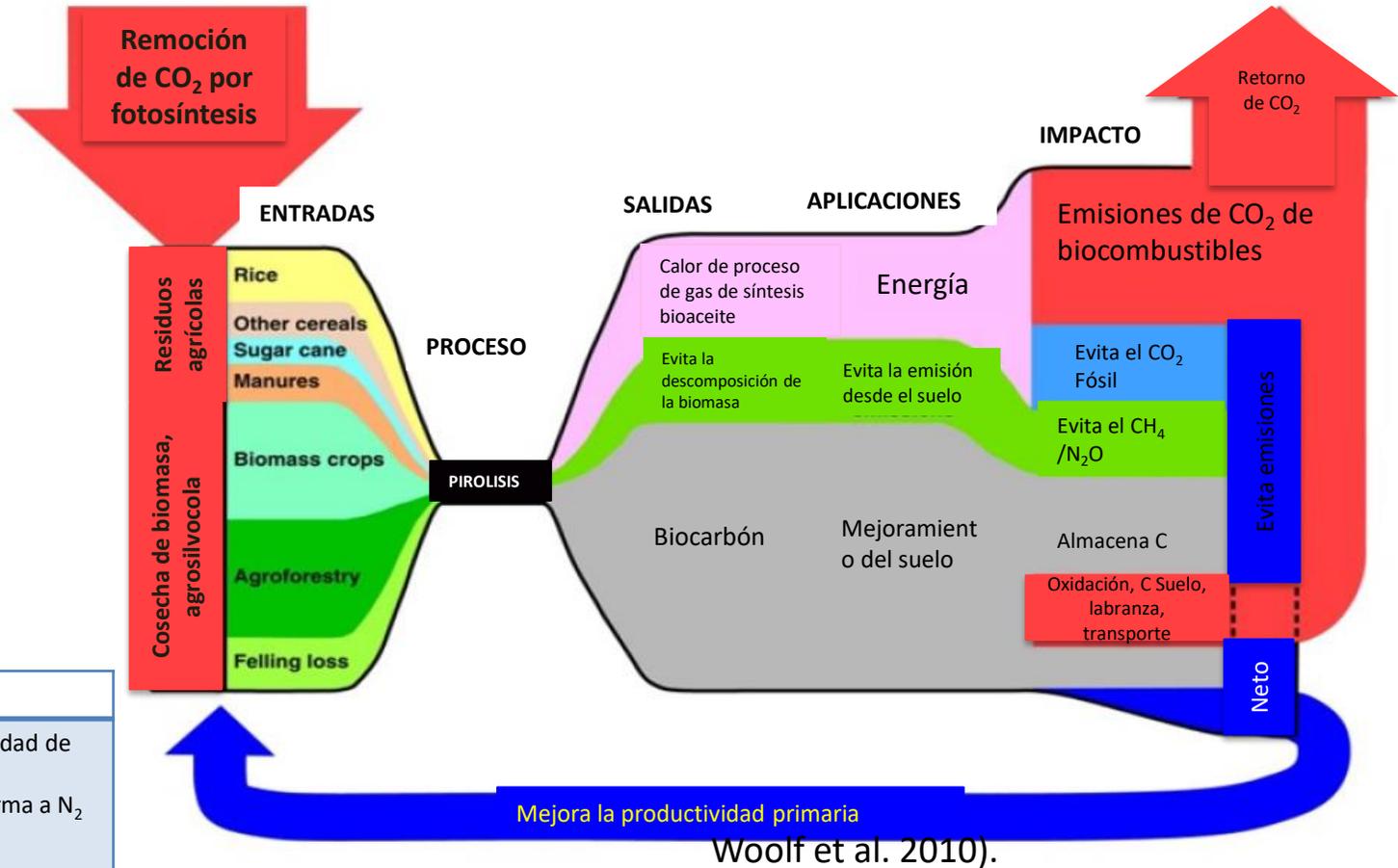
Las propiedades químicas del biocarbón dependen de la calidad de la biomasa y las condiciones del procesos

El biocarbon tiende a tener la forma del material original, y a nivel microscópico es muy poroso

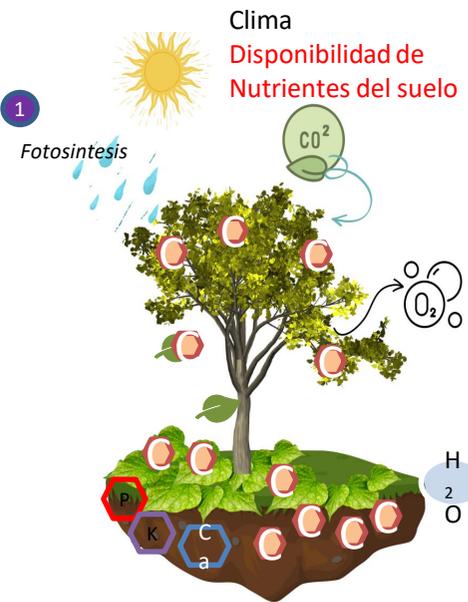




## Biocarbón



Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>Concentra el contenido de C</li> <li>Reduce sustancialmente el volumen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No es clara la disponibilidad de nutrientes</li> <li>Mucho del N se transforma a N<sub>2</sub></li> <li>Alta demanda de costos</li> </ul>



## Aporte de residuos orgánicos al suelo

La acumulación de C al suelo depende

Cantidad

Calidad



Biosólidos

M.O	40-70 %
N total	2-5%
C org.	20-50 %
C/N	10-20

*La MO ha tenido algún grado de estabilización*



Relación C/N  
Actividad Microbiana  
Humedad  
Temperatura



Lodos residuales

M.O	26.5 a 41.2 %
N total	4.2 a 6.97 %
C org.	18-23.9 %
C/N	3-6

El tiempo de residencia del MOS depende de los mecanismos por los cuales el C esta protegido en la materia orgánica

3 Estabilización del C -MOS

Tiempo de Residencia C en el suelo

*Protección Física en el interior de los agregados*

Traslación de la MOS de Hz superficiales a Hz subsuperficiales

*Protección química* Formación de complejos organo-minerales

Accesibilidad del C al ataque microbiano



## Interacción Compost/biochar - suelo

Evaluaron la estabilidad de C en varios suelos con usos diferentes

Suelos: arables, vegetación natural, producción de vid, césped, suelos mineros, suelos de campo de tiro.

Uso de compost y biocarbón de residuos de aves de corral y ganado vacuno

**Table 1**

Characteristics of soils and organic amendments used in this study.

Soil/amendments	Sand (g kg <sup>-1</sup> )	Silt (g kg <sup>-1</sup> )	Clay <sup>a</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	pH	Total C (g kg <sup>-1</sup> )	Total N (g kg <sup>-1</sup> )	Total Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	Total Pb (mg kg <sup>-1</sup> )
Arable soil	218	384	398	6.14	7.21	0.812	21.53	4.35
Vegetable soil	246	257	497	6.78	10.5	1.12	17.82	2.12
Vineyard soil	228	138	634	7.28	6.12	0.721	175.2	3.23
Turf soil	324	197	479	7.34	11.2	0.634	10.31	1.67
Copper mine soil	387	235	378	5.67	3.21	0.123	450.2	586.6
Shooting range soil	487	123	390	6.12	4.56	0.134	157.4	346.7
Poultry manure compost	-	-	-	8.12	301	23.5	10.42	3.01
Cow manure compost	-	-	-	7.87	367	17.8	7.32	1.56
Poultry manure biochar	-	-	-	8.17	456	2.25	3.45	2.34
Green waste biochar	-	-	-	8.67	576	1.56	2.27	0.57

<sup>a</sup> Major clay minerals include kaolinite, chlorite, illite and feldspar.

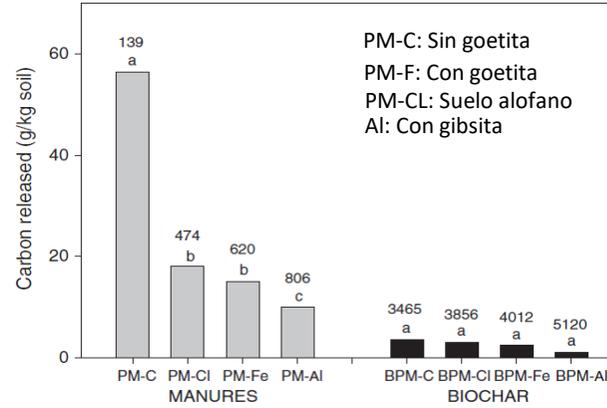
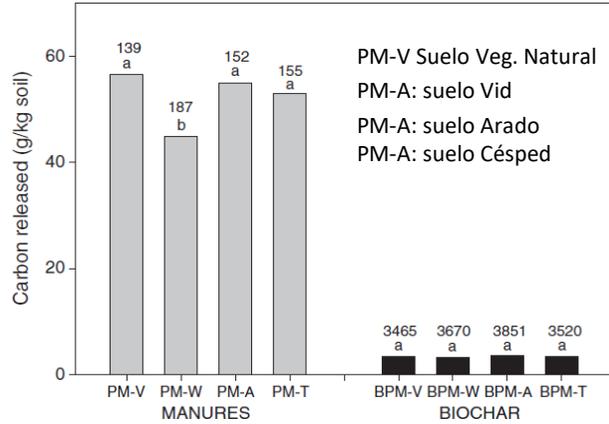
*Bolan et al 2018*

Evalúan la degradación

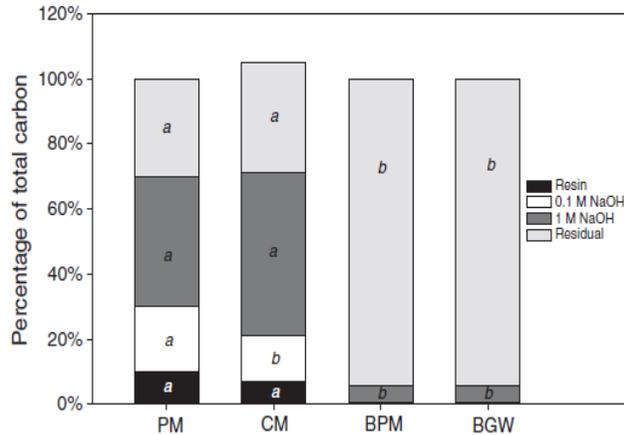
Interacción de arcillas, Fe, Al y alofano con los mejoradores

Capacidad de fertilización de los materiales

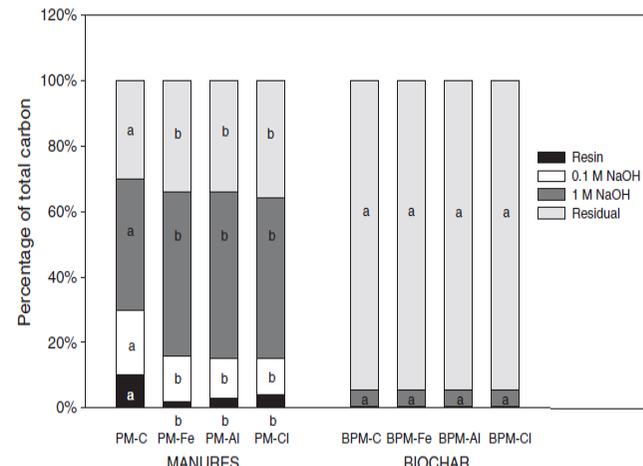
Usando dos indicadores: Biomasa microbiana y Potencial de mineralización de N



Velocidad de descomposición de de C los residuos de Aves de Corral (Compost y Biocarbón) asociado a diferentes tipos de arcilla



Fraciones de C en de los diferentes mejoradores



Fraciones de C los residuos de Aves de Corral (Compost y Biocarbón) asociado a diferentes tipos de arcilla

Concluyen que:

- 1- El composteo favorecen la mineralización del C y la disponibilidad de nutrientes.
- 2- La actividad microbiana en el biocarbón es muy baja, por lo tanto, no es una buena enmienda para favorecer la mineralización y disponibilidad de nutrientes
- 3- El alofano, óxidos de Fe y Al restringen la mineralización de las fracciones lábiles de C en materiales composteados.
- 4- La producción de biocarbón contribuye a la estabilización de C en forma recalcitrante.

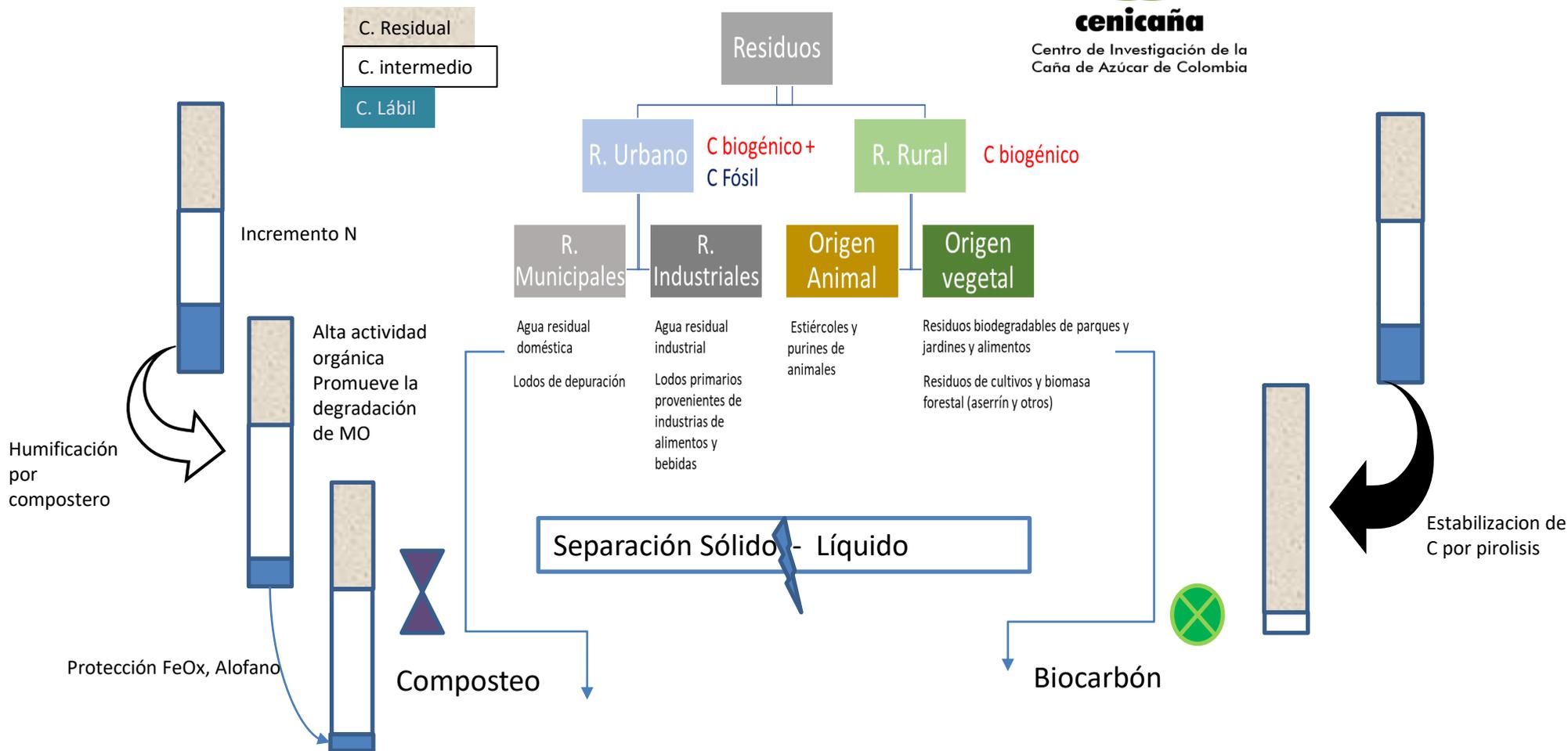
La interacción química depende del tipo de las propiedades de los suelos

# Manejo de residuos como estrategia de secuestro de carbono



**cenicaña**

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia



## Impactos del uso de mejoradores orgánicos en el suelo

Aumenta el COS

Mejoradores de las propiedades del suelo

Disminución de la densidad aparente

Mayor Porosidad

Mayor aireación

Mayor penetrabilidad de raíces

Mayor almacenamiento de agua

Actividad biológica

Mejor infiltración

Incrementar la productividad

### Desventajas

Contaminación por metales

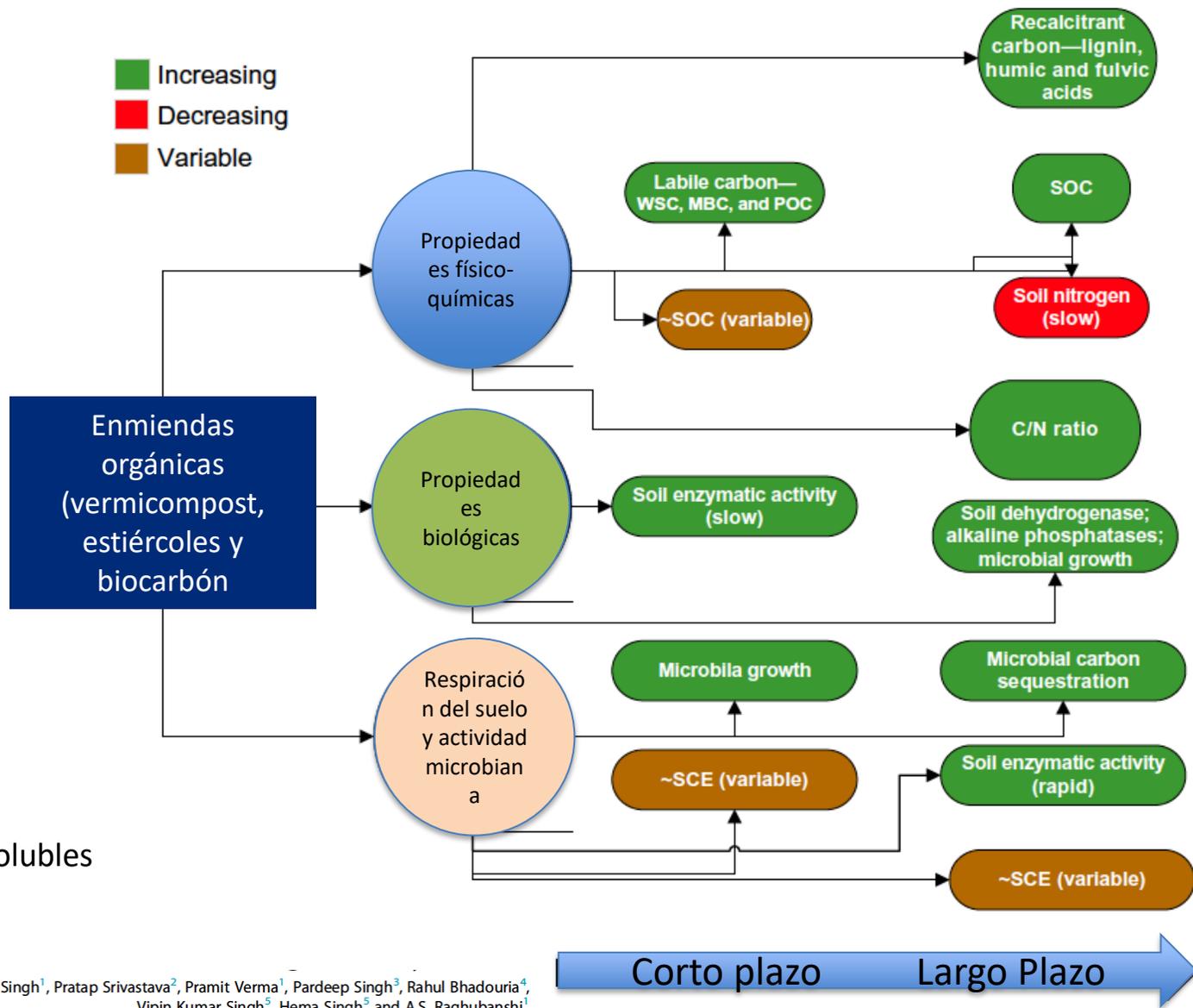
(As, Cd, Zn, Cu, Cr, Hg, Ni y Se), HACHS,

Lixiviación de nutrientes y compuestos solubles

Cambio en la comunidad microbiana

Patógenos

Emisión de GEI (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O)



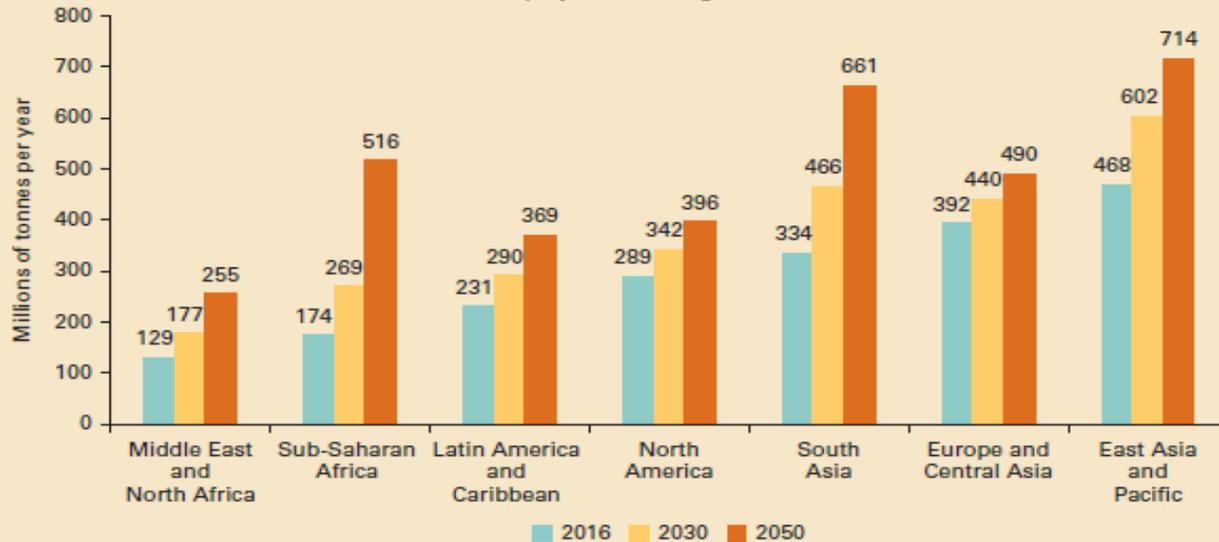
## El manejo de los residuos sólidos como estrategia de adaptación al cambio climático



**cenicaña**  
Centro de Investigación de la  
Caña de Azúcar de Colombia

**Figure 2.7 Projected Waste Generation by Region**

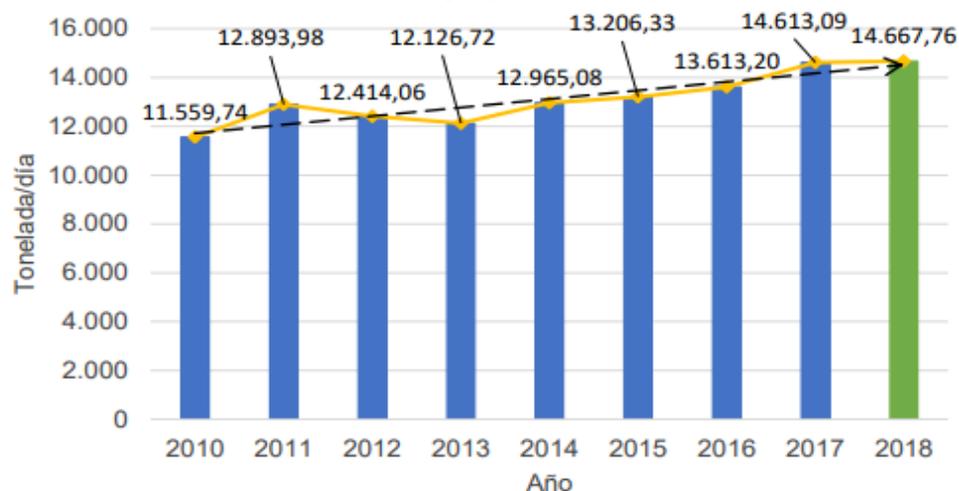
a. Total projected waste generation



Desafios del futuro

Tomado de: “What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050”

Gráfica 2. Histórico consolidado de las toneladas promedio diaria dispuestas 2010-2018 para las 8 ciudades con mayor población del país.



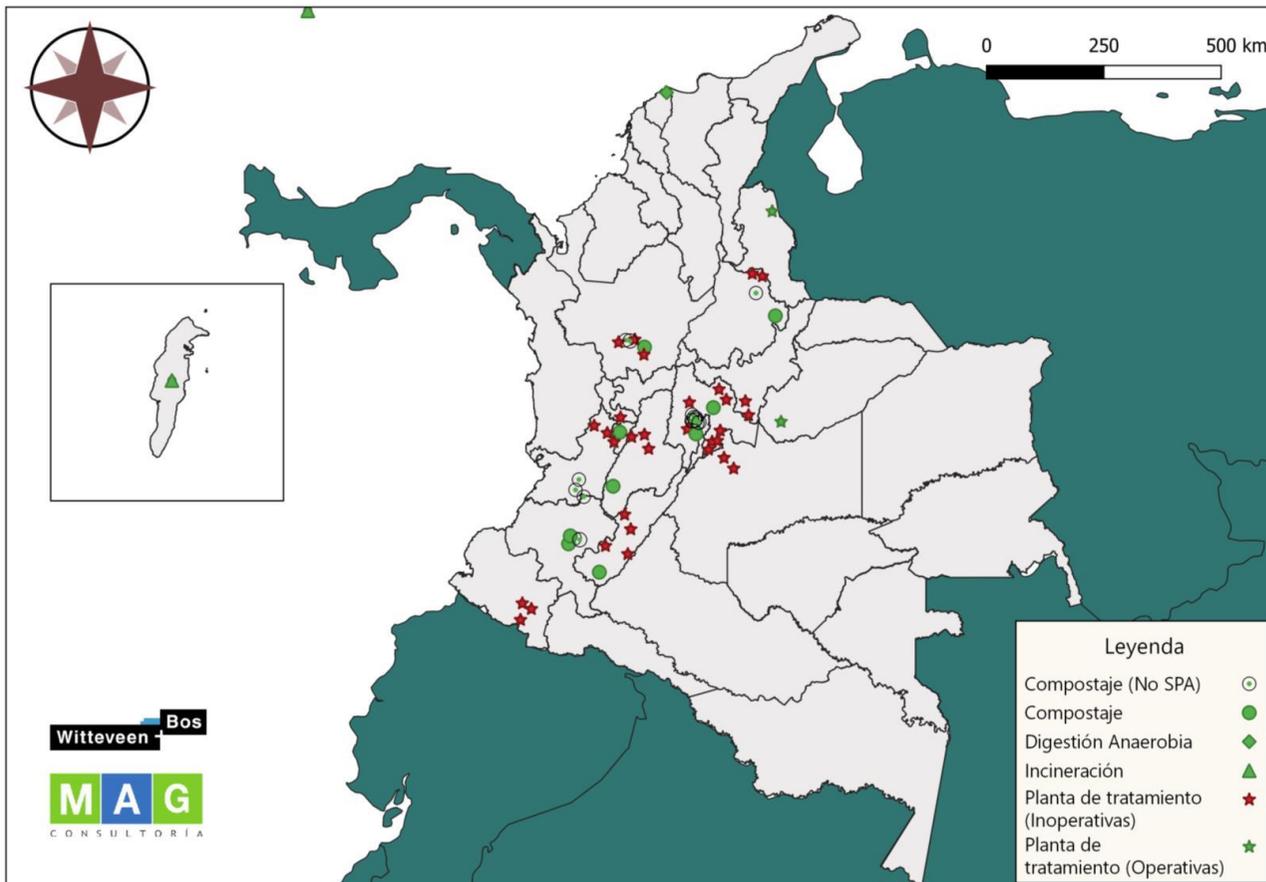
Fuente: Informes de disposición final SSPD e información SUI.

Tabla 3. Cambios porcentuales año a año

Variación	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018
Porcentaje de cambio	11,54%	-3,72%	-2,31%	6,91%	1,86%	3,08%	7,35%	0,37%

Fuente: Informes de disposición final SSPD e información SUI.

Desafíos del futuro  
Para Colombia



## Iniciativas de tratamiento de residuos sólidos en Colombia

Informe de ejecución parcial: Documento del Componente 1. Documento técnico que incluye el diagnóstico y evaluación del tratamiento de residuos sólidos en Colombia. Versión 05  
6 de agosto de 2021



**cenicaña**

Centro de Investigación de la  
Caña de Azúcar de Colombia



*Corporación Autónoma  
Regional del Valle del Cauca*

**#MÁSCercadelaGente**



# Gracias