



TÍTULO

**EL POTENCIAL AGRO-ECOLÓGICO DE ENMIENDAS
ORGÁNICAS LOCALES (BOKASHI, BIOCHAR Y COMPOST)
EFECTOS EN EL MAIZ SOBRE SUELOS ÁCIDOS DE BURUNDI**

AUTOR

Amidou Nshimirimana

Esta edición electrónica ha sido realizada en 2021

Tutor	Dr. D. Roberto García Ruiz
Institución	Universidad Internacional de Andalucía
Curso	<i>Máster Oficial en Agroecología : un Enfoque para la Sustentabilidad Rural (2019/20)</i>
©	Amidou Nshimirimana
©	De esta edición: Universidad Internacional de Andalucía
Fecha documento	2020



**Atribución-NoComercial-SinDerivadas
4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)**

Para más información:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en>



Máster en Agroecología: Un enfoque para la sustentabilidad rural

Curso 2019-2020

**El potencial agro-ecológico de enmiendas orgánicas locales
(bokashi, biochar y compost): efectos en el maíz sobre suelos
ácidos de Burundi.**

Autor

Nshimirimana Amidou

Tutor

Dr. Roberto García Ruíz

Noviembre, 2020

AUTORIZACIÓN Y VISTO BUENO PARA PRESENTACIÓN DE TFM

Nombre del alumno: Nshimirimana Amidou

Título del TFM: “EL POTENCIAL AGRO-ECOLÓGICO DE ENMIENDAS ORGÁNICAS LOCALES (BOKASHI, BIOCHAR Y COMPOST): EFECTOS EN EL MAÍZ SOBRE SUELOS ÁCIDOS DE BURUNDI.”

Resumen: Burundi es uno de los países más pobres del mundo. La mayoría de su población vive de la agricultura de subsistencia. Sin embargo, su agricultura se enfrenta a varios problemas, entre ellos el agotamiento y la pérdida de fertilidad de las tierras cultivables debido, entre otros, a que los nutrientes cosechados no se reemplazan y a valores bajo de pH del suelo. El uso de fertilizantes químicos de síntesis no es una opción para la inmensa mayoría de los agricultores por su elevado coste. Además, no sería deseable que la productividad agrícola de Burundi dependiese de fertilizantes químicos de síntesis importados entre otras razones porque una gran preocupación por los efectos adversos a largo plazo del uso intensivo de fertilizantes químicos, tanto para la salud del suelo como para el medio ambiente. Una de las alternativas es la reutilización de fuentes de materia orgánica disponibles localmente con distinto nivel de procesamiento.

En este trabajo se evaluaron los efectos de fuentes de materia orgánica disponibles localmente (compost, biochar y bokashi) y la cal en la producción de maíz durante dos periodos de cultivo.

La producción media anual (granos y biomasa aérea) con estas fuentes de materia orgánica fueron entre 2.15 (biochar) y 3.5 (bokashi) veces mayores que sin estas fuentes de materia orgánica. Las mayores producciones se alcanzaron con bokashi. Posiblemente, los niveles elevados de fósforo, potasio y otros cationes, junto con la elevada diversidad de microorganismos del bokashi fueron los responsables de la producción elevada bajo este tratamiento. La producción promedio anual de granos de maíz con bokashi fue de 7.6 toneladas ha⁻¹, valor similar a las producciones en países desarrollados con variedades mejoradas y con paquetes tecnológicos.

Hubo un efecto significativo residual de estas fuentes de materia orgánica en la producción, lo que indica que el efecto sobre el suelo no es estrictamente debido a los nutrientes aportados sino a mejoras en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Hubo un efecto significativo de la adición de cal sobre la producción sólo en aquellas unidades experimentales con bokashi y compost, lo que sugiere que hubo un efecto sinérgico positivo de la cal y de la materia orgánica.

Este estudio pone de manifiesto que la productividad de cereales en Burundi puede mejorar notablemente y a corto con la reutilización de fuentes de materia orgánica disponibles y sugiere que políticas dirigidas a la transferencia de conocimiento al agricultor sobre el empleo de fuentes de materia orgánica disponibles localmente, es una buena estrategia para aumentar la productividad en Burundi.

Palabras clave: Agroecología, fuentes locales de materia orgánica, Burundi, acidez, bokashi, biochar, compost, maíz, carbonato cálcico

SUMMARY

Burundi is one of the poorest countries in the world. The majority of its population lives on subsistence agriculture. However, its agriculture faces several problems, including the depletion and loss of fertility of arable land due, among other things, to the non-replacement of harvested nutrients and low soil pH values. The use of synthetic chemical fertilizers is not an option for the vast majority of farmers because of their high cost. Furthermore, it would not be desirable for Burundi's agricultural productivity to be dependent on imported synthetic chemical fertilizers, among other reasons, because there are serious concerns about the long-term adverse effects of intensive chemical fertilizer use on both soil health and the environment. One of the alternatives is the reuse of locally available sources of organic matter with different levels of processing.

In this work, the effects of locally available sources of organic matter (compost, biochar and bokashi) and lime on maize production were evaluated during two cultivation periods.

The average annual production (grains and aerial biomass) with these organic matter sources was between 2.15 (biochar) and 3.5 (bokashi) times higher than without these organic matter sources. The highest yields were achieved with bokashi. Possibly, the high levels of phosphorus, potassium and other cations, together with the high diversity of microorganisms in the bokashi were responsible for the high production under this treatment. Average annual production of bokashi maize grain was 7.6 MT ha⁻¹, similar to the production in developed countries with improved varieties and technology packages.

There was a significant residual effect of these organic matter sources on production, indicating that the effect on the soil is not strictly due to the nutrients provided but to improvements in the physical, chemical and biological properties of the soil.

Also, there was a significant effect of the addition of lime on production only in those experimental units with bokashi and compost, suggesting that there was a positive synergistic effect of the lime and the organic matter.

This study shows that the grain productivity in Burundi can be significantly improved in the short term by reusing available organic matter sources and suggests that policies aimed at transferring knowledge to the farmer on the use of locally available organic matter sources is a good strategy for increasing productivity in Burundi.

Keywords: Agroecology, local sources of organic matter, Burundi, acidity, bokashi, biochar, compost, maize, calcium carbonate

A la vista del texto final del TFM presentado por Nshimirimana Amidou, con título “EL POTENCIAL AGRO-ECOLÓGICO DE ENMIENDAS ORGÁNICAS LOCALES (BOKASHI, BIOCHAR Y COMPOST): EFECTOS EN EL MAÍZ SOBRE SUELOS ÁCIDOS DE BURUNDI.” doy el visto bueno a su presentación y defensa ante el tribunal correspondiente al cumplir los criterios suficientes de calidad en su contenido y forma.

Para que conste y surja los efectos oportunos,

En Jaén a 7 de noviembre del 2020

Dr. Roberto García Ruíz

ÍNDICE

ÍNDICE.....	5
1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. JUSTIFICACIÓN.....	8
3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	9
3.1. Hipótesis.....	9
3.2. Objetivos.....	9
4. MARCO TEORICO.....	10
4.1. Aspectos geográficos de Burundi.....	10
4.2. Agricultura en Burundi.....	11
4.3. Suelo de Burundi.....	14
4.4. Acidez del suelo; factor que limita la productividad de los suelos de Burundi... 15	
4.5. Fertilización en Burundi.....	17
4.6. Agricultura ecológica en Burundi.....	18
4.7. El maíz; uno de los principales cultivos de subsistencia de Burundi.....	18
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
5.1. Descripción del sitio y diseño experimental.....	20
5.1.1. Las precipitaciones de Ngozi.....	22
5.2. La semilla del maíz del experimento.....	23
5.3. Efecto de distintas fuentes de materia orgánica localmente disponible sobre la producción de maíz.....	23
5.4. Procedimiento.....	27
5.5. Evaluación del "recuerdo" de las fuentes de materia orgánica y del efecto de la dolomita calcárea en la producción de maíz.....	29
5.6. Toma de muestras.....	32
5.7. Análisis estadístico.....	32
6. RESULTADOS.....	33
6.1. Efectos del bokashi, biochar y compost en la producción de 2018.....	33
6.2. Efecto residual de las fuentes de materia orgánica.....	40
6.3. Efecto de la cal en la producción.....	47
6.4. Producción anual.....	54
7. DISCUSIÓN.....	56
8. CONCLUSIONES.....	59
9. BIBLIOGRAFÍA.....	60
10. REFERENCIAS WEB.....	62

AGRADECIMIENTOS

Quería destacar mi especial agradecimiento al Dr. Roberto García Ruiz, tutor del presente trabajo fin de máster. Gracias por su paciencia, su sabiduría y su visión experta en la dirección del trabajo, pero también por haberme asesorado previamente sobre la realización de dicho máster.

Quiero agradecer a la Universidad Internacional de Andalucía el apoyo y la ayuda proporcionada a los estudiantes extranjeros que vivieron en la residencia de Baeza durante la pandemia de la COVID-19.

También me gustaría dedicar unas líneas a todas las personas que me han acompañado desde hace años en este crecimiento a nivel académico, pero también personal:

En primer lugar, gracias a mi familia por su amor y apoyo incondicional desde mi nacimiento, que se mantiene siendo un adulto. Su esfuerzo y confianza en mí basados en el cariño y el respeto, me hicieron crecer como persona.

Deseo agradecer el apoyo y la amistad indiscutible de mis compañerxs del máster en Baeza, con quienes viví y compartí momentos muy especiales. Con ellxs he podido establecer unos vínculos afectivos basados en los cuidados mutuos que han sido vitales para aguantar el confinamiento estando lejos de mi país.

Gracias especiales a la familia Carmen Cano Ramiro y Agustín Madero Montero por abrirme las puertas de su casa y de Andalucía. De ellos he podido aprender más de lo que uno se puede imaginar.

La vida es hermosa, y una de las formas en que se manifiesta esta hermosura es el hecho de poder compartir y disfrutar con quienes amamos y con quienes nos ayudan en nuestro camino, como han hecho mis hermanos Andrés Altuna López y Dámaso Estévez Calero en mi formación tanto académica como personal. Gracias por estar siempre presentes en mi vida. Tampoco puedo olvidar a Silvia Ligeró Amieiro y al Padre Bigirimana Jean Bosco por su ayuda incuestionable.

Para terminar, deseo expresar mi reconocimiento y gratitud a la población Batwa de Gatabo en Ngozi, a los miembros de la asociación se Puede Hacer (SPH) de Jaén.

En último lugar, pero no por ello menos importante a Pilar Belar Rodríguez y al Dr. Víctor Aranda Sanjuán cuya colaboración y complicidad en este trabajo se extiende desde hace bastante tiempo.

1. INTRODUCCIÓN

Según una estimación de la FAO, la población mundial alcanzará los 9.100 millones de habitantes en 2050 (Cheveny, 1994; Pérez et al. 2018). A fin de evitar una crisis alimentaria y satisfacer las necesidades alimentarias de todos los habitantes en 2050, la FAO estima que la producción agrícola mundial debe aumentar en un 70%. Burundi, como todos los países, debe aumentar la producción agrícola para garantizar la seguridad alimentaria de sus habitantes. No obstante, este incremento en la producción agrícola ha de realizarse con el mínimo impacto ambiental posible.

Para lograr este objetivo de combinar incrementos en la producción económicamente rentable y con el mínimo impacto ambiental posible se precisa de una transición en la agricultura del modelo agrícola intensivo imperante a hacía otros modelos más sostenibles en el marco conceptual de la agroecología. Ésta incorpora un enfoque de la agricultura más ligado al medioambiente y más sensible socialmente, centrado no solo en la producción sino también en la sostenibilidad ecológica del sistema de producción. Respecto a la agronomía clásica, en la agroecología se introducen elementos claves como el enfoque ecológico y la preocupación por el medioambiente y la sociedad.

En la agricultura convencional dominante en la actualidad, estamos asistiendo a una intensificación que se refleja en el creciente uso de insumos químicos sintéticos, en particular fertilizantes químicos de síntesis y plaguicidas, entre otros. Estos aportes tienen consecuencias negativas para el medio ambiente y la salud humana. La no reposición de los nutrientes retirados con la cosecha es una de las causas del agotamiento del suelo y de la disminución de los rendimientos de los cultivos (Cheveny, 1994).

Los productores están a favor del uso de fertilizantes químicos de síntesis para mejorar significativamente los rendimientos (Fall et al., 2000; Zelem, 2011a). Sin embargo, el alto coste de los fertilizantes químicos de síntesis limita su utilización en aquellos productores que carecen de medios para obtenerlos (Fall et al., 2000). El uso de fertilizantes minerales se asocia, a veces, a pérdidas de éstos por escorrentía y lixiviación que pueden tener efectos ambientales adversos en otros ecosistemas receptores (Dugué, 1998). Herrera, O. F et al., (2000) demostró que las altas dosis de fertilizantes minerales y orgánicos utilizados en los campos promueven la contaminación por nitratos de las aguas superficiales e incluso la contaminación de las aguas subterráneas.

Hoy día, se hace necesario centrarse en ciertas prácticas agroecológicas basadas en el mantenimiento y el restablecimiento de la fertilidad del suelo. En este contexto, el uso de materia orgánica es una alternativa a los fertilizantes minerales para fertilizar los cultivos. La materia orgánica es beneficiosa en la medida en que tiene un efecto favorable sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Esto implica intervenciones en el ámbito de la agroecología dirigidas a restablecer la macro porosidad, el suministro de materia orgánica, cómo estiércol y compost, policultivos y rotaciones y la aplicación de enmiendas orgánicas eficaces para reforzar la

estructura y mejorar el pH. En realidad, sigue siendo necesario idear y desarrollar sistemas de producción sostenibles y equilibrados que sean más productivos que los sistemas actualmente en vigor, siempre con la participación de los agricultores que son los que contienen el conocimiento del día a día.

2. JUSTIFICACIÓN

La situación en la que se encuentra los suelos africanos, especialmente de Burundi, supone una amenaza para la agricultura, y por consiguiente un agravamiento de la pobreza, así como de la sostenibilidad ambiental. Tres cuartas partes de los suelos aptos para la agricultura en África se han degradado significativamente. Más del 80 % de los suelos en África tienen limitaciones químicas o físicas que limitan la producción de cultivos (Jones, 2013). Por lo tanto, para conseguir la seguridad alimentaria, es necesario que en África se lleve a cabo una agricultura de conservación utilizando prácticas sostenibles, y así poder aumentar la productividad y sostenibilidad de la agricultura.

Según Smith (1999), en la mayoría de los países africanos, la producción de alimentos se enfrenta al problema de la continua disminución de la fertilidad del suelo debido en parte a las perturbaciones climáticas de los últimos años. Estas perturbaciones han debilitado enormemente los sistemas de producción agrícola debido a la caída de los rendimientos, lo que ha provocado déficits recurrentes de cereales. Como resultado, la autosuficiencia alimentaria y la mejora de los ingresos agrícolas se ven comprometidas. Así pues, se requieren métodos de producción alternativos para hacer frente al desafío.

El conocimiento y la tecnología de los campesinos de Burundi en relación a la producción agropecuaria son escasísimos y la capacidad de producir y/o adquirir enmiendas orgánicas son muy remotas.

Por tanto, los principales hitos que justifican este estudio son: i) la baja producción ligada al bajo nivel de reposición de los nutrientes retirados con la cosecha y los valores bajos de pH del suelo, y ii) el escaso conocimiento de los agricultores en técnicas de reposición de la fertilidad del suelo utilizando fuentes locales de materia orgánica y en técnicas y métodos dirigidas a subir el pH del suelo.

Es por ello que en este TFM se realiza un estudio comparado entre los efectos de tres enmiendas orgánicas sobre suelos en Burundi en la producción del maíz. Se evaluarán los efectos del bokachi, biochar y compost tradicional elaborados con productos locales en la productividad y en el pH del suelo. Asimismo, se potenció la transferencia de conocimiento a los campesinos gracias a su activa implicación en la preparación de estas fuentes de materia orgánica, en el cultivo del maíz y en la recogida de la cosecha.

3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

3.1. Hipótesis

La principal hipótesis de partida de este estudio es que el uso de las enmiendas orgánicas fuentes orgánicas de nutrientes de origen local, y por tanto a disposición de los campesinos y a unos costos asumibles, puede contribuir a erradicar la acidez de los suelos de Burundi e impulsar la productividad y la calidad del maíz en la zona del estudio.

Las enmiendas tales como el bokashi, el biochar y el compost se están prestando mucha atención en otros lugares del mundo mejorando las condiciones para la revegetación y garantizar el éxito de la recuperación.

3.2. Objetivos

El objetivo general de este trabajo es mejorar la productividad del maíz, y por tanto contribuir a un incremento en la seguridad alimentaria, en la provincia de Ngozi-Burundi usando fuentes de materia orgánica disponibles localmente. Otros objetivos específicos fueron: i) evaluar el papel de estas enmiendas orgánicas y el carbonato cálcico en el incremento del pH del suelo, y ii) transferir conocimiento y técnicas del cultivo a una representación del poblado Batwa.¹

¹ Los twa (en plural: batwa) son un pueblo pigmeo y autóctono, junto a los Hutus y Tutsi son la tercera etnia de Burundi y Ruanda. Su situación se deterioró considerablemente durante el siglo XX debido a la expansión de los cultivos y la deforestación. Desde el decenio de 1970, la caza se ha vuelto ilegal y la redistribución de la tierra que tuvo lugar después de la independencia ha ido en detrimento de los Batwa. (Kagabo et al., 1974)

4. MARCO TEORICO

4.1. Aspectos geográficos de Burundi

Burundi es un país del África oriental que no tiene acceso al mar, pero que tiene una gran costa en el lago Tanganica, situado en la región de los Grandes Lagos y rodeado por la República Democrática del Congo al oeste, Ruanda al norte y Tanzania al este y al sur. Desde el 4 de febrero de 2019 su capital política es Gitega. Bujumbura, la antigua capital del país y la ciudad más poblada, es la capital económica.

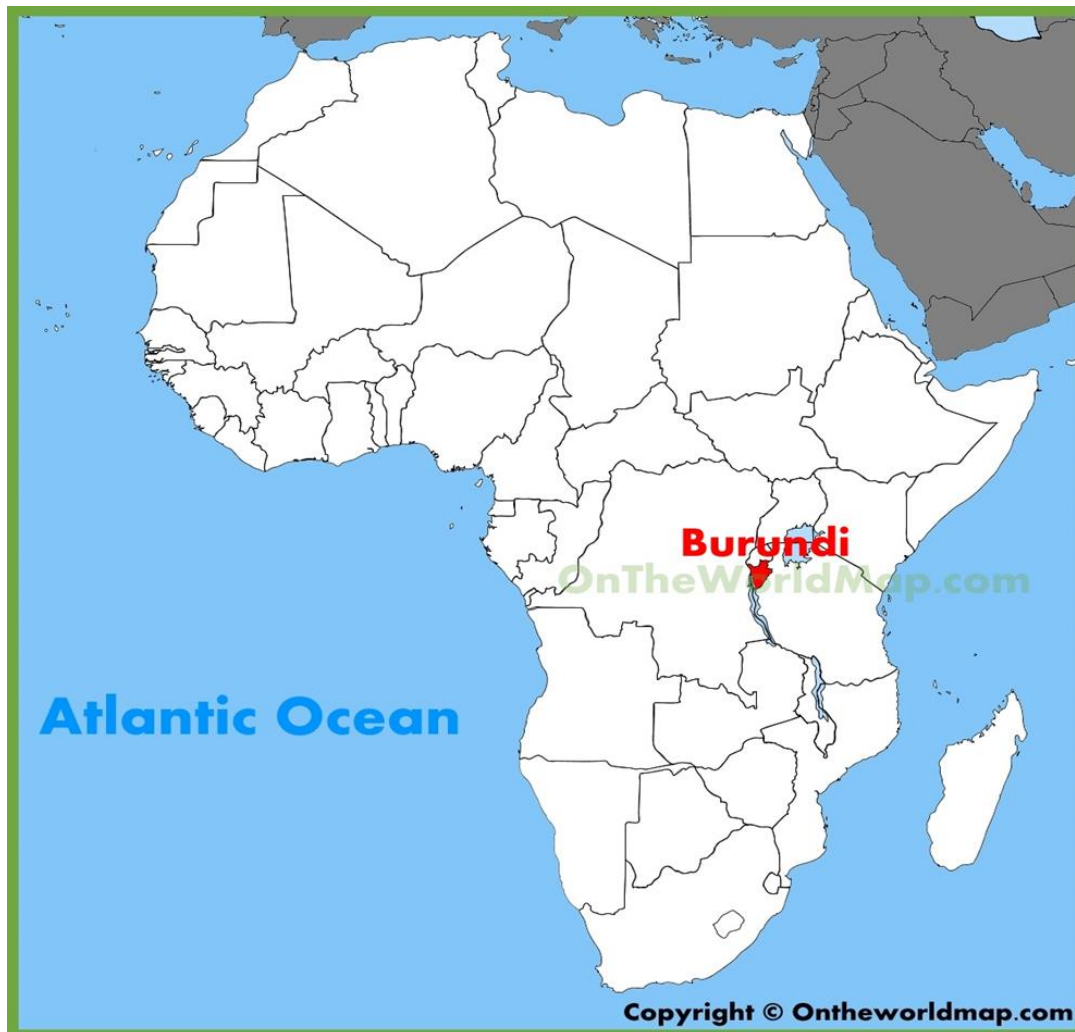


Figura 1. Localización de Burundi en el mapa de África. Recuperado de www.oneworldmap.com

El país está compuesto de 17 provincias, entre las que se encuentra Ngozi cubriendo un área de 1.474 km². Localizado en el norte de Burundi, es la zona donde se va a centrar el estudio de este TFM. El norte de Burundi tiene una alta densidad de población en comparación con el resto del país. La densidad puede alcanzar los 600 habitantes por km² en las colinas de las provincias de Ngozi, donde la presión demográfica ha modificado en

gran medida las facies de la cubierta vegetal hasta tal punto que la vegetación natural casi ha desaparecido tanto en los ecosistemas terrestres (Cazenave-Piarrot, 2004).

Según el informe de ONU-Hábitat de 2012, alrededor del 95% de los hogares de Burundi utilizan leña, sus derivados y otros materiales vegetales para cocinar. Además de la contaminación atmosférica causada por el humo, este tipo de cocina requiere una gran cantidad de madera, lo que tiene el efecto indirecto de degradar el suelo.

Este elevado grado de deforestación tiene un efecto negativo en la regulación del régimen hídrico, la conservación del suelo y la biodiversidad, e influye en las condiciones climáticas y especialmente en la erosión del suelo, que amenaza a todo el país.

Ngozi se encuentra en la sabana arbolada de Miombo de Zambeze central. Tiene un clima tropical, con temperaturas de hasta 30°C aunque las temperaturas medias están en los 15-21°C. Las precipitaciones anuales son de 1000-1500 mm (Jones et al., 2013). Los árboles que predominan el hábitat son tales como: *Anthonotha pynaertii*, *Albizia gummifera*, *Parinari excelsa*, *Prunus africana*, *Syzygium guineense*, etc. que pueden alcanzar hasta 25 m de altura, tienen una corona densa y amplia (Nzigidahera B., 2000). En cuanto a especies herbáceas, las predominantes son las gramíneas silvestres, que forman excelentes pastos.

4.2. Agricultura en Burundi

En Burundi se practica la agricultura campesina. El sector agrícola emplea al 93% de la población activa de Burundi, proporciona el 95% del suministro de alimentos, el 90% del empleo y más del 90% de los ingresos. Sin embargo, la agricultura intensiva, que se basa en el riego, el uso de fertilizantes, la protección de las plantas mediante el uso de plaguicidas u otros fitosanitarios o la introducción de nuevas variedades de cultivos y sistemas de cultivo tienen repercusiones en la biodiversidad y, por consiguiente, en la nutrición.

Además, en algunas zonas densamente pobladas de Burundi, los suelos no descansan debido al uso intensivo de fertilizantes minerales y a la falta de sistemas de protección, lo que provoca una erosión que da lugar a inundaciones en las zonas bajas y a la contaminación de los cursos de agua. En todas las regiones se está llevando a cabo la tala de bosques, entre otras razones porque éstos son la principal fuente de energía, provocado por la deforestación de varias zonas de ecosistemas forestales. Esto conduce lógicamente a la pérdida de especies y de bienes y servicios del ecosistema.

Burundi sigue siendo uno de los países más pobres del mundo. Su Índice de Desarrollo Humano (0,423) lo sitúa en el puesto 185 de 189 países y su PIB per cápita se estima en 275 dólares de los EE.UU. en 2018. La pobreza afecta a una gran parte de la población. Según las estadísticas del Banco Mundial, el 70% de la población actual vive por debajo del umbral de pobreza internacional de 1 dólar al día. El Producto Interno Bruto (PIB)

fue de 3.078 millones de dólares en 2018 y su tasa de crecimiento real es variable, pero sigue siendo inferior al 5%.

Las explotaciones agrícolas de Burundi tienen un promedio de 0,5 ha en las que se practica la agricultura de subsistencia, principalmente para el autoconsumo. Según las proyecciones, el número de personas que viven directamente de la tierra aumentará a 11 millones en el 2025. El suministro de alimentos, que viene determinado esencialmente por el rendimiento de la agricultura, es insuficiente en términos de cantidad y calidad, y su estabilidad ya no está asegurada. Por consiguiente, es urgente contribuir al restablecimiento de la seguridad alimentaria y nutricional sostenible en Burundi mediante la agricultura agroecológica.

Según (FAO 2018), la agroecología, parte integrante de su visión común para una alimentación y una agricultura sostenibles, es un componente esencial en la respuesta mundial a este clima de inestabilidad y ofrece un planteamiento único para hacer frente a los aumentos significativos de nuestras necesidades alimentarias del futuro al tiempo que garantiza que nadie se quede atrás.

La agroecología, como herramienta práctica y como enfoque científico, aborda a través de sus tres dimensiones (ecológica-productiva, socioeconómica y político-cultural) las diversas formas de transición hacia sistemas agroalimentarios más sustentables, desde la finca hasta las formas de organización del consumo y las políticas públicas. También busca transformar los sistemas alimentarios y agrícolas abordando las causas profundas de los problemas de forma integrada y aportando soluciones holísticas y a largo plazo.

La comprensión de los procesos ecológicos y el papel de las formas tradicionales y modernas de las agriculturas sustentables, junto con la comprensión de los procesos sociales y políticos de la organización de los sistemas agroalimentarios, son la base para reconocer tendencias y acompañar procesos de transición agroecológica en diferentes escalas y desde las tres dimensiones.

Para Gliessman et Al 2007 ya es el tiempo de una nueva revolución conceptual y metodológica que guíe nuevas formas de producción más sostenibles, nuevos diseños y manejos de agroecosistemas, nuevo tejido social que respalde la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola a nivel global. Estas expectativas son las que Agroecología ofrece transformar en realidades, tanto a través del estudio y aplicación de métodos agroecológicos como a través de la continua interacción con otras disciplinas científicas, para lograr el desarrollo sostenible.

El sistema agrícola predominante de Burundi es un sistema mixto dominado por los cultivos alimentarios que integra un sistema de ganadería extensiva, micro forestación y cultivos comerciales. Los cultivos alimentarios ocupan alrededor de 1210000 ha o alrededor del 43,4% de la superficie nacional, mientras que los cultivos comerciales ocupan 104000 ha o el 3,7% de todo el territorio nacional. Los pantanos cultivados

comprenden alrededor de 81403 hectáreas o el 2,9% de la superficie del país (MINAGRIE, 2008).

Los principales cultivos de exportación de Burundi son el café (87% de la superficie cultivada), el algodón (8%), el té y la caña de azúcar (1,7%) y los demás el 3,3%. Se han introducido casi todos los cultivos y sólo tres especies autóctonas en declive se cultivan en muy pequeña escala. Entre ellas se encuentran *Discorea bulbifera var. anthropophagarum*, *Basella alba* y *Solanum nigrum*.

Desde el punto de vista agrícola, en algunas zonas los agricultores tienen dificultades para producir buenas cosechas porque la relativa baja fertilidad del suelo y por las elevadas pendientes de buena parte del territorio. Por ejemplo, la productividad estimada en Burundi para el maíz y el trigo son de 1530 y 1400 kilos por hectárea y año para el 2018 (FAOSTAT) que son 7.8 y casi 3 veces menos que los rendimientos en España.

Las plantaciones suelen cultivarse en policultivos y/o en rotaciones que incluyen, generalmente, el maíz, frijol, sorgo, mandioca. Casi todas las plantaciones también integran ganado, principalmente pequeños rumiantes como cabras, algunos cerdos y conejos y gallinas. La producción de estos animales suele ser baja, lo que sugiere que se crían más para obtener estiércol, ahorros, seguridad y estatus social (Cochet, 2004; similar a la situación de Zambia explicada por Moll, 2005).

El elevado crecimiento demográfico (la población se duplica cada 30 años aproximadamente) agrava la escasez de tierras de cultivo y su sobreexplotación, lo que hace que el suelo sea improductivo y favorece la erosión. Los barbechos y la rotación de cultivos, tradicionalmente utilizados para restablecer la fertilidad del suelo, ya no son una opción posible, y lo que es peor, los agricultores se están endeudando para comprar fertilizantes químicos de síntesis, pensando que esta es solución mágica para sus pobres cosechas.

La estrategia descrita de diversificación de las explotaciones agrícolas y de autosuficiencia parece ser racional en un contexto de constante escasez de tierras agrícolas, de falta de fiabilidad de los mercados de alimentos y de falta de oportunidades de obtener ingresos fuera de la agricultura (como consecuencia del carácter subdesarrollado de la economía rural no agrícola) (Ngaruko y Nkurunziza 2000; Baghdadli et al., 2008).

Los resultados actuales del sector agrícola son muy deficientes. Es evidente que los conflictos políticos que dieron lugar al desplazamiento de los agricultores, la destrucción de la infraestructura y la pérdida de ganado es un importante factor explicativo de este débil desempeño, pero la situación se ve agravada por la ineficacia de los sistemas de producción, las dificultades para acceder a las semillas y otros insumos, el acceso limitado al crédito y a los servicios financieros y la elevada fragmentación de las tierras (Oketch y Polzer, 2002; Baghdadli et al., 2008).

Un síntoma del escaso acceso a los insumos es el bajo uso de fertilizantes, que en 1992 era marginal con $3,7 \text{ kg ha}^{-1}$, muy inferior a la media de $14,9 \text{ kg N ha}^{-1}$ del África subsahariana (Ngaruko y Nkurunziza, 2000) y muchísimo menos de los que se emplean en países fuera de África. Además, el cultivo intensivo debido a la alta densidad de población (en promedio $426 \text{ personas km}^2$) dio lugar a una marcada disminución de la productividad de la tierra con grave erosión del suelo y problemas de fertilidad del suelo (Oketch y Polzer, 2002).

Según el informe de ONU-Hábitat de 2012, alrededor del 95% de los hogares de Burundi utilizan leña, sus derivados y otros materiales vegetales para cocinar. Además de la contaminación atmosférica causada por el humo, este tipo de cocina requiere una gran cantidad de madera, lo que tiene el efecto indirecto de degradar el suelo.

Este elevado grado de deforestación tiene un efecto negativo en la regulación del régimen hídrico, la conservación del suelo y la biodiversidad, e influye en las condiciones climáticas y especialmente en la erosión del suelo, que amenaza a todo el país.

Ngozi se encuentra en la sabana arbolada de Miombo de Zambeze central. Tiene un clima tropical, con temperaturas de hasta 30°C aunque las temperaturas medias están en los $15\text{-}21^\circ\text{C}$. Las precipitaciones anuales son de $1000\text{-}1500 \text{ mm}$ (Jones et al., 2013). Los árboles que predominan el hábitat son tales como: *Anthonotha pynaertii*, *Albizia gummifera*, *Parinari excelsa*, *Prunus africana*, *Syzygium guineense*, etc. que pueden alcanzar hasta 25 m de altura, tienen una corona densa y amplia (Nzigidahera B., 2000). En cuanto a especies herbáceas, las predominantes son las gramíneas silvestres, que forman excelentes pastos.

4.3. Suelo de Burundi

Más del 60% de las tierras de Burundi están ocupadas por antiguos suelos muy alterados llamados Kaolisols (Hicintuka, C., & Masilya, P. M. 2013). Estos suelos están generalmente tienen valores bajos de bases (Ca, Mg) y por lo tanto son ácidos y con niveles de aluminio disponible que llevan a ser tóxicos. Su restauración requiere un aporte significativo de enmiendas básicas como materia orgánica, cenizas, piedra caliza (Ntiburumusi, 1989).

Paradójicamente, la materia orgánica y las cenizas son demasiado poco disponibles para proporcionar las bases en cantidades suficientemente grandes. Por lo tanto, el medio más simple y eficaz de restaurar los ácidos y eliminar el aluminio intercambiable es a través de la materia orgánica y el uso de la piedra caliza. Burundi es reconocido como un buen depósito de carbonato, del cual los más importantes son las dolomías de Moso, los mármoles dolomíticos de Buganda y los travertinos de Imbo-Norte y Busiga en Ngozi (Hicintuka, C., & Masilya, P. M. 2013).

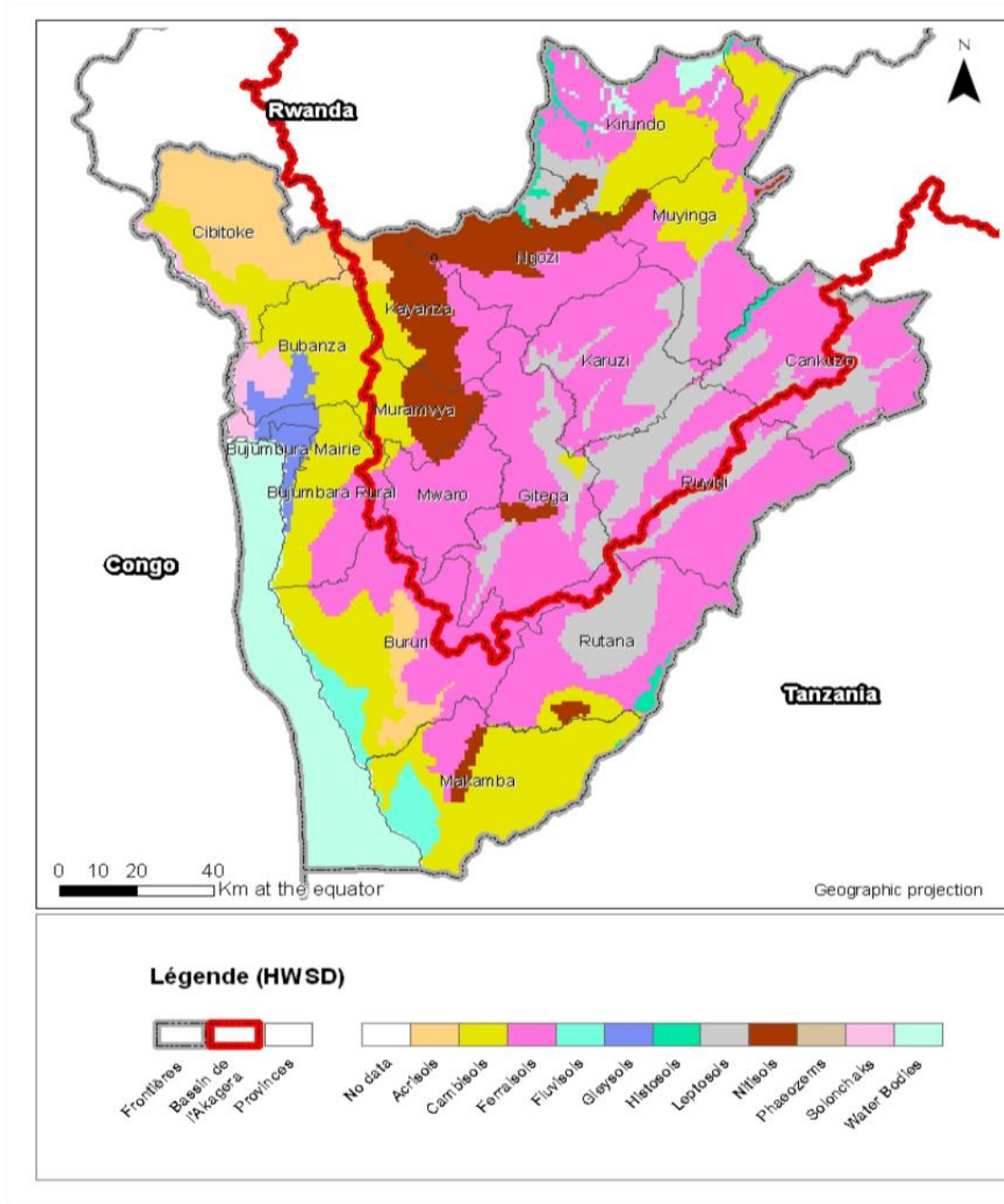


Figura 2: Los suelos de Burundi. (Proyecto Kagera TAMP, 2010)

4.4. Acidez del suelo; factor que limita la productividad de los suelos de Burundi

La acidificación del suelo es un proceso natural con importantes efectos en el crecimiento de las plantas. A medida que el suelo se vuelve más ácido, especialmente cuando el pH cae por debajo de 4,5, se hace cada vez más difícil cultivar alimentos. A medida que el pH baja, el suministro de la mayoría de los nutrientes de las plantas disminuye, mientras que el aluminio y algunos micronutrientes se vuelven solubles y tóxicos para las plantas.

Estos problemas son particularmente agudos en las regiones tropicales húmedas donde los suelos han sido severamente alterados por los elementos. Según Sánchez y Logan (1992), por ejemplo, un tercio de los trópicos, o 1.700 millones de hectáreas de tierra, son tan ácidos que el aluminio soluble es tóxico para la mayoría de las plantas alimenticias.

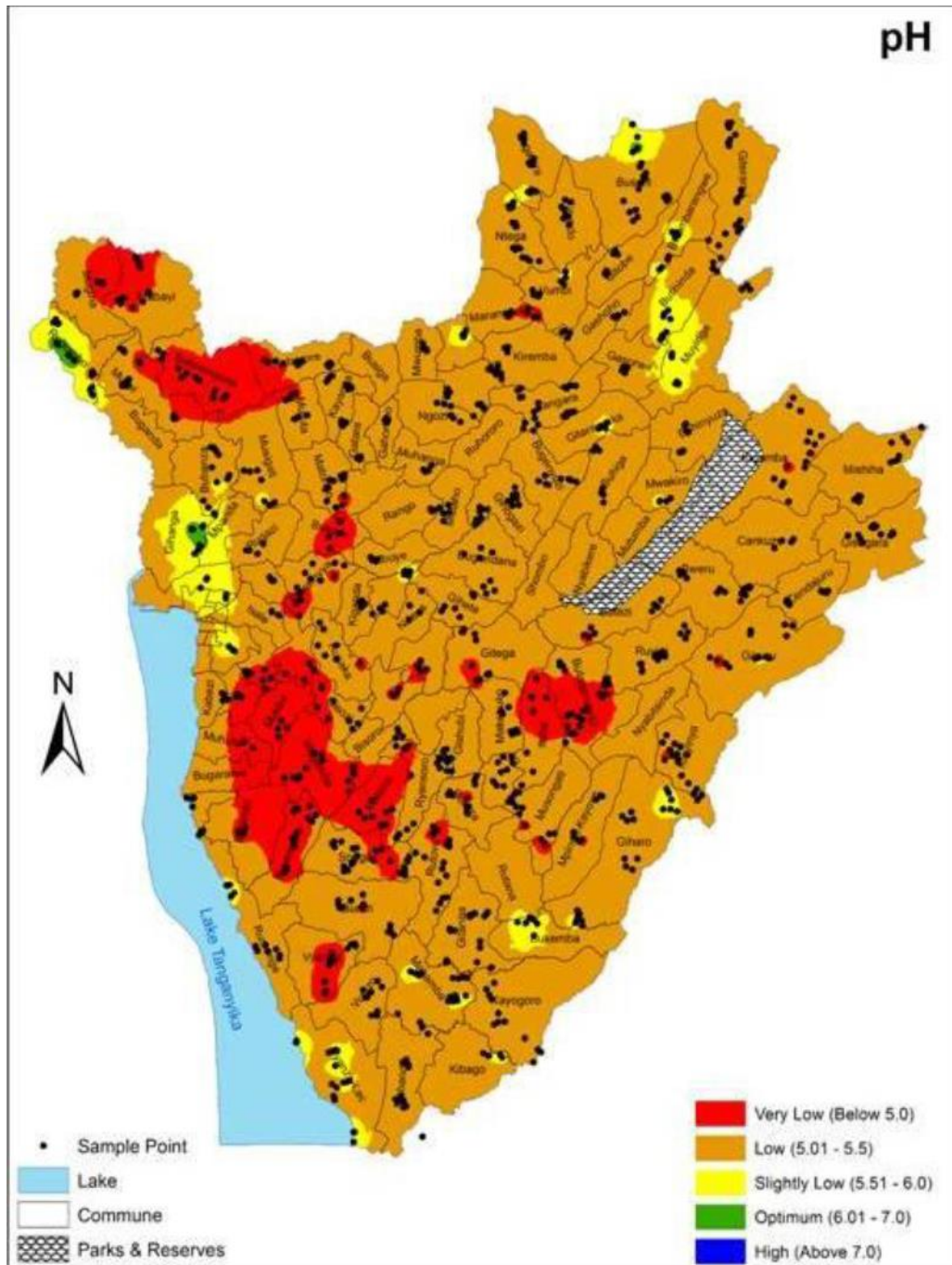


Figura 3. El pH de los suelos de Burundi. (Nduwimana O et al., 2013)

Los suelos se vuelven ácidos naturalmente debido a la lixiviación de los cationes básicos en condiciones de altas precipitaciones. A un pH inferior a 5, el aluminio (Al) es soluble en agua y se convierte en el catión dominante en la solución del suelo. En los suelos

ácidos, el exceso de Al lesiona principalmente el ápice de la raíz e inhibe la elongación de la misma (Sivaguru y Horst, 1998). El escaso crecimiento de las raíces da lugar a una reducción de la absorción de agua y nutrientes y, como resultado, los cultivos que crecen en suelos ácidos se ven limitados por la escasez de nutrientes y la disponibilidad de agua cuyo efecto neto es la reducción del crecimiento y el rendimiento de los cultivos (Marschner, 2011).

La acidez del suelo está aumentando en alcance y magnitud en Burundi, lo que limita gravemente la producción de cultivos. Por ejemplo, en algunas zonas de cultivo de maíz y de trigo, los agricultores han pasado a producir frijol, que es más tolerante a la acidez.

La elevada presión demográfica sobre las tierras agrícolas, a menudo con pendientes pronunciadas, aumenta el deterioro de los nutrientes por los cultivos y su susceptibilidad a la erosión, lo que a la larga conduce a la acidificación del suelo. El suelo de Ngozi se caracteriza por la baja actividad de los microorganismos subterráneos, la obstrucción de la absorción de ciertos nutrientes por parte de la planta y la perturbación del crecimiento debido a que el aluminio liberado limita el desarrollo de las raíces y los elementos que promueven el crecimiento, como el fósforo, el magnesio y el potasio, se vuelven inaccesibles para la planta.

La acidificación de estos suelos puede deberse a diversas causas, como la actividad biológica de las plantas o la lixiviación y la erosión del suelo, que deben corregirse aplicando materia orgánica o cal. Este proceso permite que el suelo se vuelva más ligero y más fértil, compensando la falta de calcio. Su acción mejora la calidad física del suelo: el suelo también se vuelve más fácil de cultivar.

4.5. Fertilización en Burundi

El uso de fertilizantes está creciendo rápidamente. Gracias al Programa Nacional de Subvención de Fertilizantes Químicos de Burundi (PNSEB), el volumen de fertilizantes minerales aumentó de 7.000 a 50.000 toneladas entre 2012 y 2017. Sin embargo, la aplicación de fertilizantes químicos está muy por debajo de la media de los países con agricultura intensiva. El aporte de nutrientes es de 6 kg por hectárea, en comparación con el promedio africano de 8 kg por hectárea en el continente y 500 kg por hectárea en los países industrializados.

Aunque los fertilizantes químicos parecen impulsar la producción de cultivos alimentarios, los científicos advierten de los riesgos asociados a su uso intensivo. Éstos alteran el suelo, causando la acidez del mismo y degradando el medio ambiente. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la aplicación excesiva de fertilizantes químicos causa la acidificación del suelo. Se recomienda fertilizar el suelo con abono orgánico para reducir el impacto de los fertilizantes químicos.

4.6. Agricultura ecológica en Burundi

La agricultura orgánica está en su fase embrionaria en Burundi. La promoción de los productos orgánicos se enfrenta a muchas limitaciones. La demografía galopante afecta al equilibrio de nutrientes de los suelos. Como resultado de la presión demográfica sobre la tierra cultivable, el país está experimentando un déficit de nutrientes. El suelo ya no tiene suficientes nutrientes, por lo que la productividad disminuye. En este caso, uno está obligado a proporcionar elementos adicionales. Sin embargo, la agricultura orgánica excluye el uso de fertilizantes químicos. Esta práctica puede no ser posible en Burundi, habida cuenta del estado de los nutrientes del suelo y la presión demográfica.

Sin embargo, en todas las provincias del país existen iniciativas para promover la agricultura orgánica. Esto incluye la reposición del ganado para la producción de abono orgánico y la capacitación de los agricultores en la producción de compost. Dado que la prioridad es alimentar a la población, la promoción de la agricultura orgánica debe correr parejo con la producción de fertilizantes orgánicos.

En todo el mundo, muchos países están suscribiendo el programa de agricultura orgánica. El consumo mundial de productos ecológicos está implosionando. En la subregión, países como Tanzania, Uganda, ... están alentando a los agricultores a seguir desarrollando la agricultura orgánica. Tanzania tiene una gama de productos hortícolas orgánicos certificados. Las frutas y verduras orgánicas (tomate, sandía, col, espinacas, cebollas...) se venden en las tiendas de comestibles locales, pero la mayor parte de la producción se destina a la exportación a los países de la UE.

La tendencia emergente es que los consumidores prefieren los productos ecológicos. Como resultado, los precios fluctúan constantemente. A Burundi le interesa unirse a los demás países, de lo contrario tendrá dificultades para conquistar el mercado regional. Además, el aceite de aguacate de Burundi no es popular en el mercado regional porque no es orgánico. La agricultura orgánica prohíbe el uso de fertilizantes y pesticidas químicos. Por el contrario, favorece las prácticas agrícolas que protegen el medio ambiente, el suelo y la salud de los consumidores. En particular, fomenta los policultivos y el uso de abono orgánico.

4.7. El maíz; uno de los principales cultivos de subsistencia de Burundi

El maíz es el mayor cultivo de cereales del mundo en términos de cantidad y superficie, por delante del trigo y el arroz. El maíz se cultiva en una amplia variedad de condiciones de cultivo que van desde los climas tropicales hasta los templados, desde el nivel del mar hasta los 3.000 metros sobre el nivel del mar. El maíz, que se cultiva en todos los continentes, se adapta a un sistema de cultivo de alimentos como en el África subsahariana o, por el contrario, con mayor intensidad como en los Estados Unidos.

También en Burundi, el maíz es el principal cereal que se cultiva. Es un alimento básico importante con más del 70% consumido como alimento por los pequeños agricultores, y

alrededor del 10% utilizado como alimento para animales. Se ha estimado que la producción anual de maíz en el período de 2014 a 2018 es de 210.227 toneladas en promedio en Burundi (FAOSTAT, 2020) con rendimientos que promedian los 1500 kilos por hectárea.

Gracias a su diversidad de variedades, se cultiva durante todo el año y en todo el país, tanto en zonas de baja, media y alta altitud. Es un alimento básico en todas las regiones y a menudo se cultiva en asociación con otros cultivos, como las patatas dulces o los frijoles.

El maíz desempeña un papel esencial en la seguridad alimentaria del país, especialmente porque es rico en nutrientes. La gran mayoría de la producción nacional es autoconsumida por los productores y sus familias, incluso en las zonas de alta producción (Fernández et al., 2013).

Se consume de diferentes maneras, en forma de maíz tostado, maíz en grano, harina, pastel o gachas. La harina de maíz también se utiliza para preparar gachas, cerveza o la masa llamado “Ugali” que es el alimento básico tradicional de África Oriental. Consiste principalmente en harina cocida en agua y aglomerada en una bola. En el este, la harina se hace más a menudo de maíz, mijo o mandioca. Una parte del consumo de maíz se utiliza también como alimento para el ganado (Wanjala, W. G et al., 2016).

Las cosechas de maíz, incluso en zonas de alta producción, son en su mayoría autoconsumo. Dado que la producción nacional de maíz es insuficiente para satisfacer todas las necesidades de la población, Burundi es un importador neto de maíz. Según la Cámara de Comercio Internacional, la mayoría de las importaciones de maíz en Burundi proceden de Tanzania, Ruanda, Uganda y Zambia.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Descripción del sitio y diseño experimental

La experiencia manipulativa de campo con diferentes fuentes de materia orgánica disponibles localmente se realizó en el poblado Batwa de Gatabo, comuna Gashikanwa en la provincia de Ngozi (Burundi 2°53'25.1"S; 29°51'19.8"E) durante dos ciclos de cultivo consecutivos (marzo de 2018 a marzo de 2019).

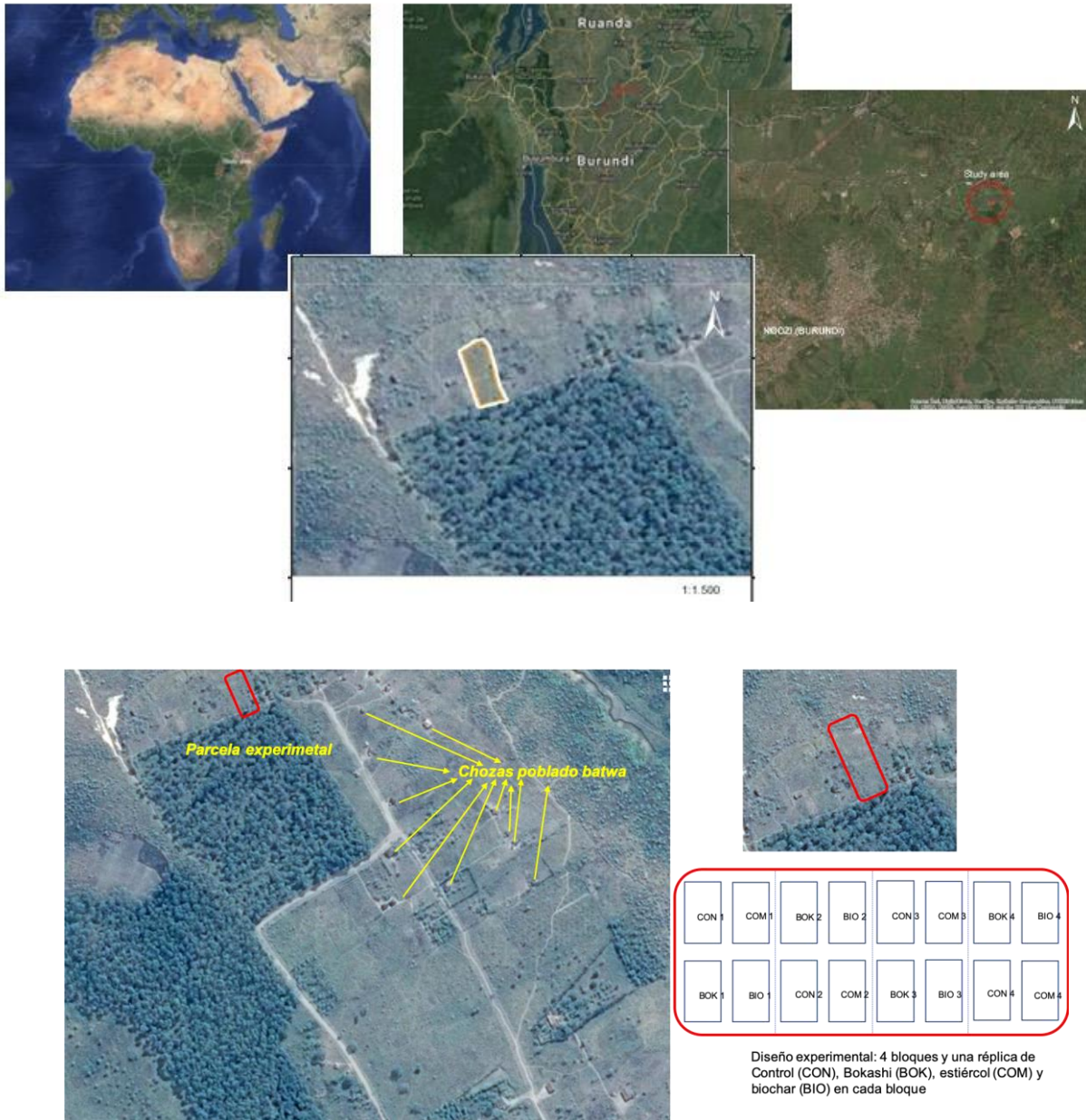


Figura 4. Gatabo, lugar dónde se realizó la experiencia en campo, en Ngozi, Burundi y África

El suelo es de textura del suelo (franco-arenoso) y el promedio de pH suelo, 4,6, es el típico de la zona. En la tabla 1 se muestran algunas propiedades del suelo. La densidad aparente promedio es de 1.17 g cm⁻³. Los contenidos en materia orgánica, carbono orgánico y nitrógeno orgánico son altos. Sin embargo, la capacidad de intercambio catiónico y los niveles de cationes intercambiables son bajos y típicos de suelos tropicales antiguos y sometidos a precipitaciones medias-altas.

Tabla 1. Algunas propiedades físico-químicas del suelo de la fracción fina (2 mm) de la capa superior de 20 cm superiores del suelo tomado en parcela experimental (Ngozi, Burundi). Datos de una muestra de suelo compuesta por 5.

Soil properties	
Sand ¹	72
Silt ¹	17
Clay ¹	10
Soil texture	Sandy loam
pH (H2O 1:2.5)	4.6
Electric conductivity ²	0.01
Organic matter ²	6.9*
Organic carbon ²	4.02
Total nitrogen ²	0.26
Carbon-to-nitrogen ratio	16
Olsen P ³	13
Exchangeable Ca ⁴	0.5
Exchangeable Mg ⁴	0.44
Exchangeable Na ⁴	0.24
Exchangeable K ⁴	0.21
Cation exchange capacity ⁴	3.5
Water holding capacity ²	23.3 (W33)
	12.4 (W1500)
Bulk density ⁵	1.17

¹ %

² dS m⁻¹.

³ mg P kg⁻¹.

⁴ cmol_c kg⁻¹.

⁵ g cm⁻³.

*valor estimado a partir del contenido en carbono orgánico

5.1.1. Las precipitaciones de Ngozi

Ngozi tiene un clima tropical templado con una larga estación de lluvias y una corta estación seca. La estación de lluvias es de octubre a mayo y la seca de junio a septiembre. Las precipitaciones mensuales desde marzo del 2018 hasta marzo del 2019 se exponen en la siguiente figura.

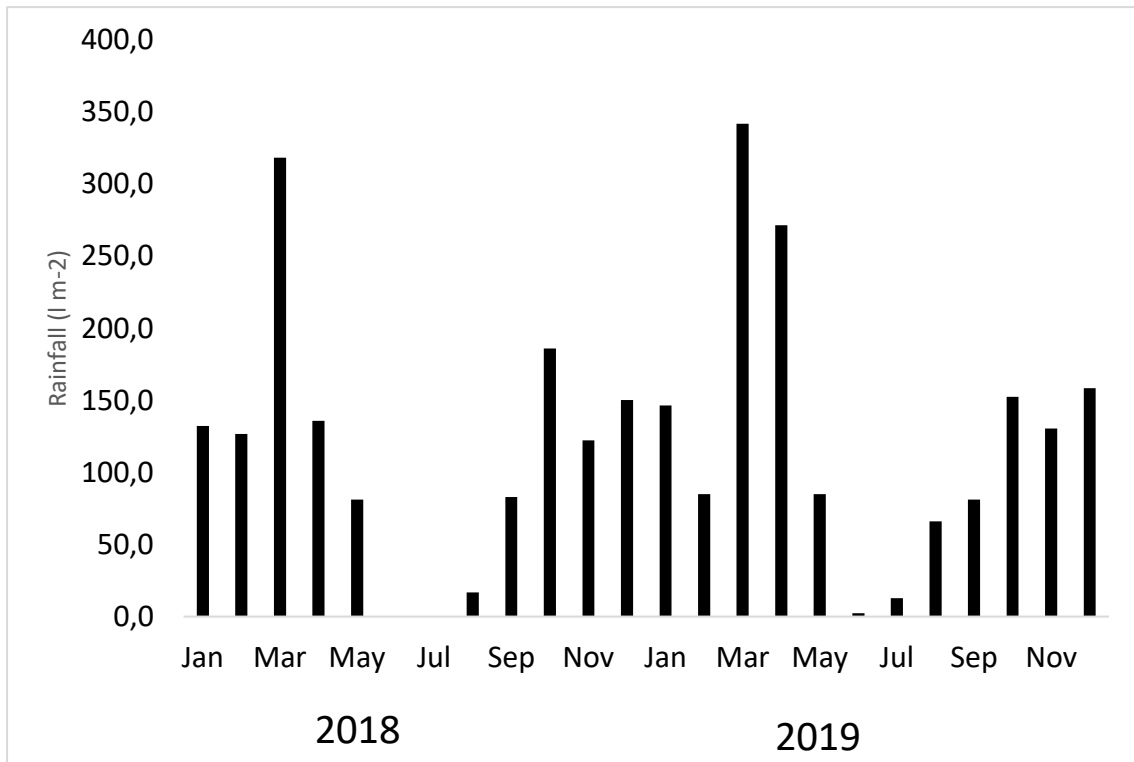


Figura 5. Las precipitaciones mensuales desde marzo de 2018 hasta marzo de 2019.

5.2. La semilla del maíz del experimento

Para el experimento se utilizó el maíz local de variedad *ISEGA* (imagen 1) ya que es una de las variedades más utilizadas en la zona debido a la buena reputación de los agricultores de la zona del norte de Burundi. Esta variedad tiene ciclo de crecimiento corto (unos 90 días), tiene un elevado grado de adaptación a climas de altitud media, y muestra gran capacidad de resistencia enfermedades. Presenta un rendimiento relativamente alto, su porte es denso (3 espigas por planta) y presenta tallos muy robustos capaces de soportar el viento. Las semillas procedían del mercado local de semillas autóctonas.



Imagen 1: Semillas del maíz local, variedad “Isega” (fuente propia).

5.3. Efecto de distintas fuentes de materia orgánica localmente disponible sobre la producción de maíz

La principal fuente de variación fue distintas fuentes de materia orgánica localmente disponible. Esta fuente de variación consistió en 4 niveles; 1) control sin fuente de materia orgánica, 2) bokashi, 3) biochar, y 4) compost:

1) El control consistió en no añadir nada al suelo.

2) La preparación del Bokashi consistió en una mezcla de 2 sacos (80 l) de cascarilla de arroz, 2 sacos (80 l) de estiércol, 2 sacos (80 l) de tierra de bosque, 5 kg de salvado de arroz, 2 Saco (80 l) de biochar triturado, 1 kg de ceniza, 4 litro de melaza, 500g de levadura de pan, 40 litros de agua de lluvia (Imagen 2).

Diez días antes de la experiencia se fueron conformando distintas capas de los distintos elementos y durante la siguiente semana se mezclaron dos veces al día para acelerar la

descomposición aeróbica y la mezcla íntima entre los distintos compuestos. Las mezclas se realizaron a una humedad óptima usando agua de lluvia.



Imagen 2: Elaboración del Bokashi (fuente propia).

3) Biochar. Éste se tomó de los restos finos de pilas de carbón vegetal (Imagen 3)



Imagen 3. Fuente de biochar. Se tomó de los restos finos de pilas de carbón vegetal de una vendedora de carbón vegetal de la ciudad de Ngozi.

4) Compost. Éste se tomó de una explotación ganadera cercana (Imagen 4)



Imagen 4. Aspecto general del compost utilizado (fuente propia)

La tabla 2 muestra los contenidos de carbono (C), nitrógeno (N), fósforo y potasio totales del bokashi, compost y biochar. Como era de esperar los mayores contenidos en carbono se obtuvieron en el biochar, mientras que en el bokashi y compost fueron bajos. Los contenidos en N fueron también relativamente bajos y nunca superiores a 0.7 % (peso seco).

Los mayores contenidos en fósforo, potasio y magnesio se obtuvieron en el bokashi mientras que los menores de estos elementos en el biochar, con excepción del potasio que en el compost fue inferior.

La cantidad de bokashi, compost y biochar aplicados en la parcela de 12 m² fue la equivalente a 75 kg de N ha⁻¹ que correspondió a 22,9 kg, 21,9 kg y 23,3 kg de biochar, bokashi y compost, respectivamente. El biochar, bokashi y compost se aplicaron y se mezclaron con el suelo 5 días antes de la siembra el 18 de marzo.

Tabla 2. Nitrógeno, carbono, fósforo, potasio, calcio y magnesio totales del biochar, bokashi y compost del período de cultivo de marzo de 2018 a julio de 2018.

***Datos obtenidos en una muestra compuesta.**

	Total nitrogen (%)	Total carbon (%)	C-to-N ratio	Total phosphorus* (%)	Total potassium* (%)	Total calcium* (%)	Total Magnesium* (%)
Biochar	0.63 ± 0.02	48.5 ± 0.99	77.0 ± 3.12	0.09	0.46	1.1	0.13
Bokashi	0.63 ± 0.03	15.2 ± 2.70	24.2 ± 2.81	0.25	0.81	1.99	0.26
Manure	0.53 ± 0.01	9.6 ± 1.09	18.1 ± 2.09	0.19	0.38	1.25	0.16

Se usaron 4 réplicas de cada tratamiento que se distribuyeron en cuatro bloques. Cada uno de los bloques consistió en 4 parcelas experimentales de 3 m x 4 m (Imagen 5 y figura 5)



Imagen 5: Delimitando los 4 bloques en 4 subparcelas de 3 m x 4 (fuente propia).



Figura 5. Diseño experimental de la parcela de julio 2018 (fuente propia).

COM, COM, BIO y BIO significa unidades experimentales con compost, control, biochar y bokashi, respectivamente. Los números hacen referencia al nº de réplica que recibió cada uno de los tratamientos. La línea roja separa los distintos bloques.

5.4. Procedimiento

En marzo de 2018, las parcelas de cada bloque recibieron uno de los siguientes tratamientos: i) ningún tratamiento (parcela CO en adelante), ii) bokashi (BOK), iii) compost (COM), y iv) biochar (BIO). Las parcelas experimentales de cada bloque en marzo de 2018 se distribuyeron como se muestra en la Figura 5a. Los tratamientos se llevaron a cabo 5 días antes de añadir las semillas de maíz.

Las semillas se distribuyeron en las unidades experimentales tal y como se muestra en la Figura 6. En cada unidad experimental se distribuyeron 40 puntos de semillado distribuidos regularmente, colocados en el nudo de las líneas. En cada punto se añadieron 3 semillas previamente hidratadas, a una profundidad de unos 5 cm. Se utilizó una herramienta artesanal que tiene una punta metálica hueca para practicar el agujero en el suelo y en la que a través del hueco se deslizan las semillas.

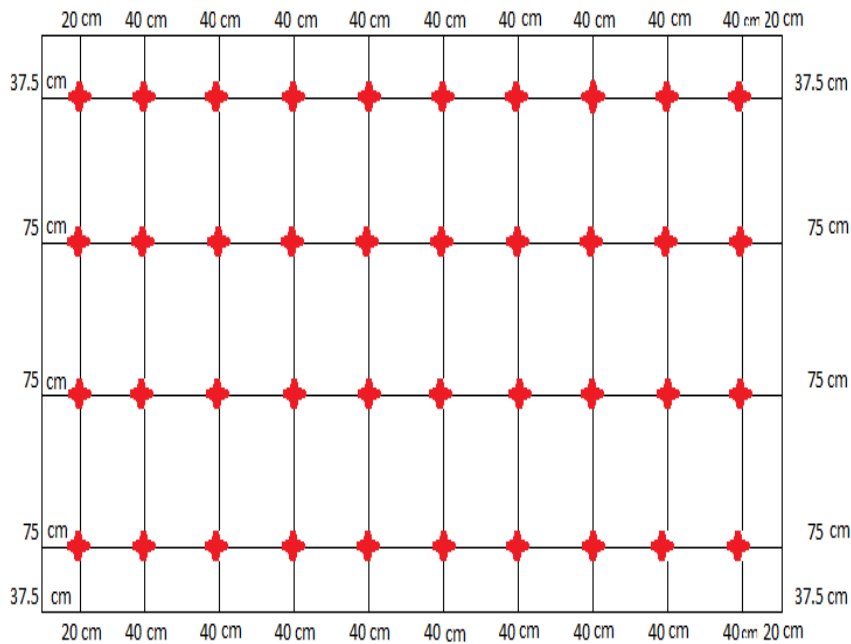


Figura 6: Diseño experimental para la distribución de las semillas en una subparcela (3x4 m²)

La imagen 7 muestra el aspecto unas pocas semanas después de la germinación de las semillas y la imagen 8 el aspecto en el momento de la cosecha. La cosecha se realizó el 20 de julio de 2018.



Imagen 7. Aspecto del maíz un par de semanas después de la germinación. (Fuente propia)



Imagen 8. Aspecto del maíz en el momento de la cosecha el 20 de julio del 2018.

5.5. Evaluación del "recuerdo" de las fuentes de materia orgánica y del efecto de la dolomita calcárea en la producción de maíz

A principios de octubre de 2018, cada una de las unidades experimentales descritas en la figura 5a recibió 1 kg de polvo de hueso de cabra incinerado (imagen 7) y 24 kg de compost (imagen 9), y se mezclaron por completo con la parte superficial del suelo.



Imagen 9. Polvo de hueso de cabra incinerado (fuente propia).



Imagen 10. Compost (fuente propia).

Un día después, cada uno de los 12 m² de la parcela se dividió en dos sub parcelas de 6m². Una de ellos recibió 6 kg de dolomita calcárea (27 % de CaO y 21 % MgO) (imagen 9), CAL en adelante, y la otro no recibió esta fuente de carbonato cálcico y magnesio (NCAL a partir de ahora).

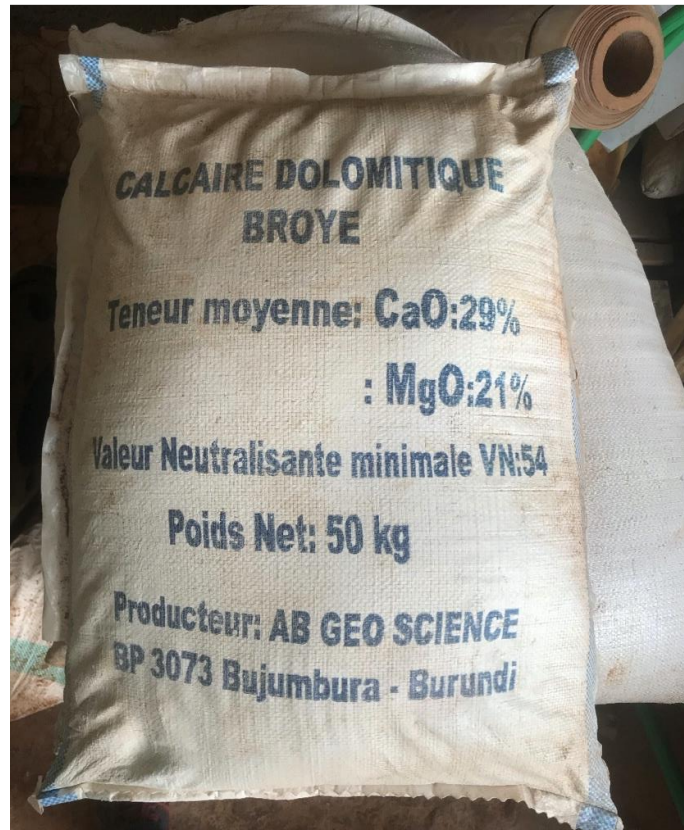


Imagen 11. Saco de dolomita calcárea (fuente propia).

El diseño experimental resultante se muestra en la figura 7.

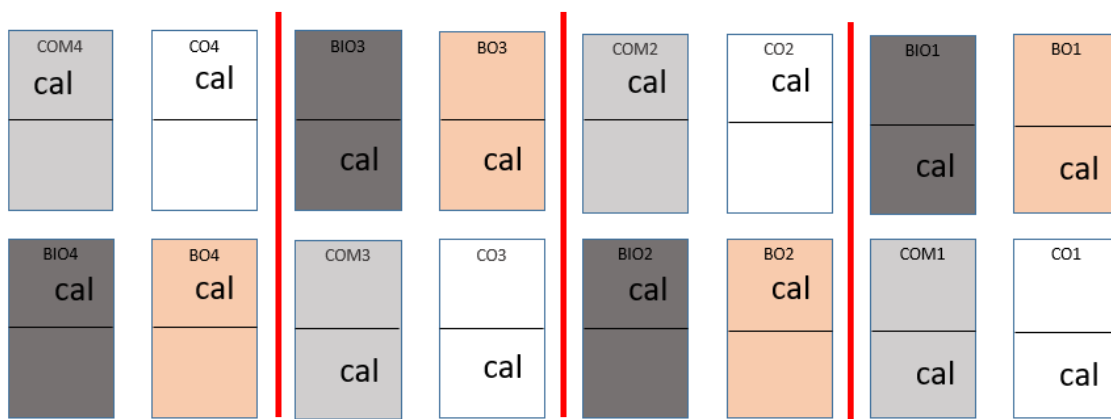


Figura 7. Diseño experimental de la parcela de marzo 2019 (fuente propia).

COM, CON, BIO y BO significa unidades experimentales que en el periodo de creciente anterior recibieron compost, control, biochar y bokashi, respectivamente. Los números hacen referencia al nº de réplica que recibió cada uno de los tratamientos en el periodo de crecimiento anterior. La línea roja separa los distintos bloques.

Una semana después de las primeras lluvias de octubre, el maíz fue sembrado como se describió arriba.

Por lo tanto, CON-CAL, BIO-CAL, BOK-CAL y COM-CAL corresponden a aquellas parcelas que recibieron la CAL, el polvo de hueso de cabra incinerado, pero que en el periodo de crecimiento anterior (marzo-julio 2018) recibieron el control, biochar, bokashi y compost, respectivamente.

CON-NCAL, BIO-NCAL, BOK-NCAL y COM-NCAL no recibieron CAL sino el polvo de hueso de cabra incinerado y, control, biochar, bokashi y compost en el periodo de crecimiento anterior (marzo-julio 2018).

Al comparar el rendimiento entre las parcelas CAL y NCAL, se evaluaron los efectos de la cal en el rendimiento del maíz. Comparando el rendimiento en las parcelas CON entre marzo-julio de 2018 y octubre 2018-marzo 2019 se pueden evaluar los efectos conjuntos de la incineración de polvo de huesos de cabra y las condiciones meteorológicas, como por ejemplo las precipitaciones.

Comparando las parcelas CAL con las parcelas NCAL pero que en el periodo de crecimiento anterior recibieron BIO (BIO-NCAL), BOK (BOK-NCAL) y COM (COM-NCAL), se pueden evaluar los efectos residuales de estas fuentes de nutrientes. Lo mismo se aplica cuando se comparan las parcelas CON-CAL con las parcelas que reciben BIO (BIO-CAL), BOK (BOK-CAL) y COM(COM-CAL) en la temporada anterior.



Imagen 12. Cosecha de la biomasa. (Fuente propia)

5.6. Toma de muestras

El 20 de julio del 2018 y el 5 de marzo del 2019 se tomaron muestras de la parte aérea de cada una de las unidades experimentales. Se tomaron 5 grupos de plantas en cada una de las unidades experimentales. Un grupo se tomó en el centro de la unidad experimental y los otros 4 grupos en cada una de las esquinas descartando siempre la primera línea de plantas. Cada grupo consistió en cosechar aquellas plantas de cada uno de los hoyos con tres semillas. Antes de proceder a su cosecha se contaron el número de plantas en cada unidad experimental, y el número de mazorcas en cada unidad experimental y en cada una de las plantas.

Todas las plantas de cada unidad experimental se guardaron en la misma bolsa. Una vez recogidas todas las plantas, éstas se extendieron al sol durante 5-7 días hasta que se secaron. Una vez secas, se pesó toda la biomasa aérea, el peso de las mazorcas y el peso de la estructura que contiene los granos. También se pesaron una cantidad conocida de granos para obtener el peso medio del grano de maíz.

Se midió la biomasa en superficie, el grano de maíz y la cáscara del grano en cada una de las parcelas experimentales y temporadas de siembra. El número de plantas y el número de mazorcas se registraron en las parcelas experimentales de 12 m². Entre el 4 (octubre 2018-marzo 2019) y el 5 (marzo 2018-julio 2018) se recogieron grupos de tres plantas en cada una de las parcelas.

Sobre una alícuota seca de grano de maíz, biomasa aérea (una composición de hojas y tallos) y estructura que acoge a los granos se determinó los porcentajes de carbono y nitrógeno con un auto analizador elemental.

Los datos se expresaron como kg de biomasa seca por hectárea para fines comparativos.

En la experiencia manipulativa de octubre 2018-marzo 2019 se midió el pH del suelo (1:10 muestra de agua destilada) en una cada parcela en marzo del 2019.

5.7. Análisis estadístico

La significación de los efectos de la fuente de materia orgánica y la cal en el pH del suelo, la biomasa aérea y la biomasa de maíz y mazorca se determinó a través de un ANOVA de una vía para los dos periodos de crecimiento. Se realizó el test a posteriori de Fisher para establecer si las diferencias entre niveles fueron significativas. Las suposiciones del análisis de la varianza (homocedasticidad y normalidad) se probaron y se aseguraron utilizando los conjuntos de datos transformados ($\log(\text{variable dependiente}+1)$) cuando fue necesario.

6. RESULTADOS

6.1. Efectos del bokashi, biochar y compost en la producción de 2018

La imagen 10 a muestra el progreso de la planta de maíz durante el periodo de cultivo de marzo-julio 2018.



Imagen 10 b. Aspecto del desarrollo de las plantas de maíz durante el experimento.

La figura 8 muestra el número de plantas que se desarrollaron completamente en cada una de las parcelas experimentales de 12 m². Cuando no se aplicó ninguna fuente de materia orgánica y nutrientes (CON), el número de plantas promedió 82.5 que fue significativamente inferior (Anova de una vía, $P < 0.05$) a las contabilizadas en el resto de unidades experimentales que recibieron alguna fuente de materia orgánica. El mayor número promedio de plantas se registró con bokashi (BOK), 106.5, aunque éste no fue significativamente distinto al registrado con compost (104) o biochar (101).

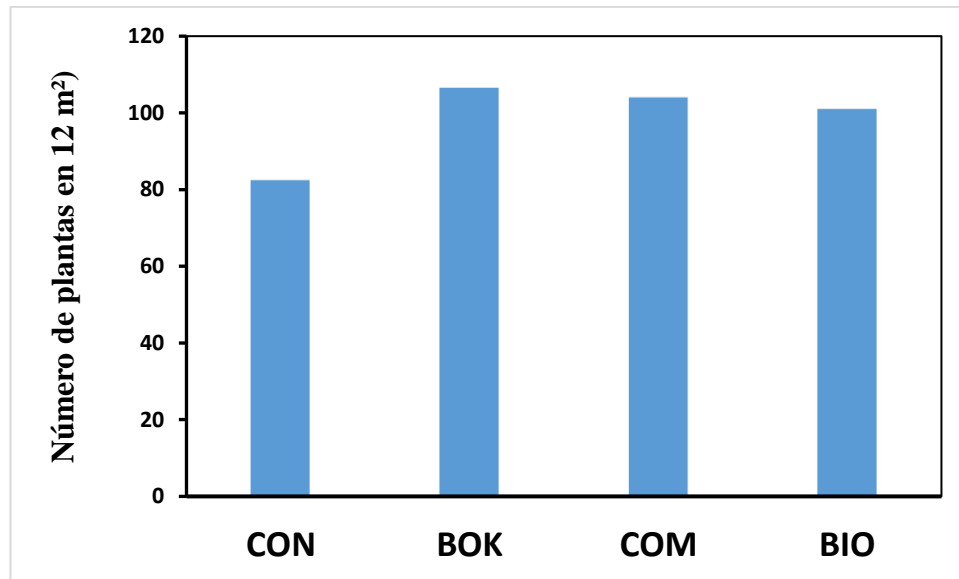


Figura 8. Número de plantas en 12 m² en las unidades experimentales que no recibieron nada (CON), y en aquellas con bokashi (BOK), compost (COM) y biochar (BIO). Los valores son el promedio de 4 réplicas. La desviación típica no se muestra, pero el coeficiente de variación no fue superior al 23 %, y promedió 9.8 %.

Figura 9 muestra el número de mazorca en el total de las plantas en las unidades experimentales de 12 m² en el tratamiento control (34.75) fue significativamente inferior que en el resto de los tratamientos (figura 9). El mayor número promedio de mazorcas (87.25) se observó en el tratamiento con Bokashi que fue significativamente mayor que con Compost (69.75) y Biochar (65.25), sin que hubiera diferencias significativas entre los valores registrados en unidades experimentales con compost y biochar (figura 9).

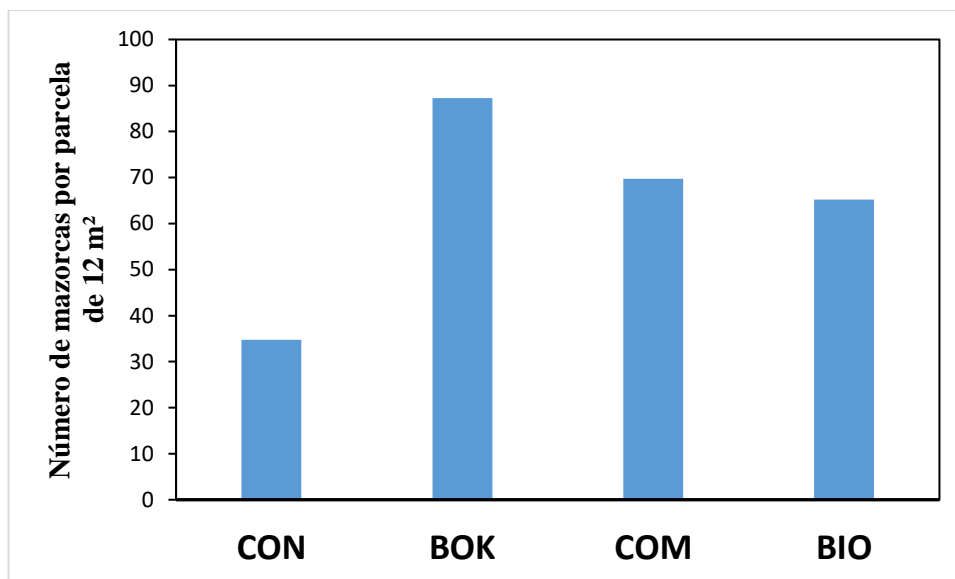


Figura 9. Número de mazorcas en 12 m² en las unidades experimentales que no recibieron nada (CON), y en aquellas con bokashi (BOK), compost (COM) y biochar (BIO). Los valores son el promedio de 4 réplicas. La desviación típica no se muestra, pero el coeficiente de variación no fue superior al 30 %, y promedió 15.6 %.

El promedio de la razón entre el peso del grano y el peso de la biomasa aérea en las unidades experimentales control fue de 0.125. En aquellas parcelas que recibieron bokashi y compost fue 2.46 y 2.50 veces superior que el registrado en el control, y con biochar fue un 80 % superior que en el control. Los mayores valores se registraron para el bokashi y compost, sin que hubiera diferencias significativas entre ellos y éstos fueron superiores al del biochar (figura 10).

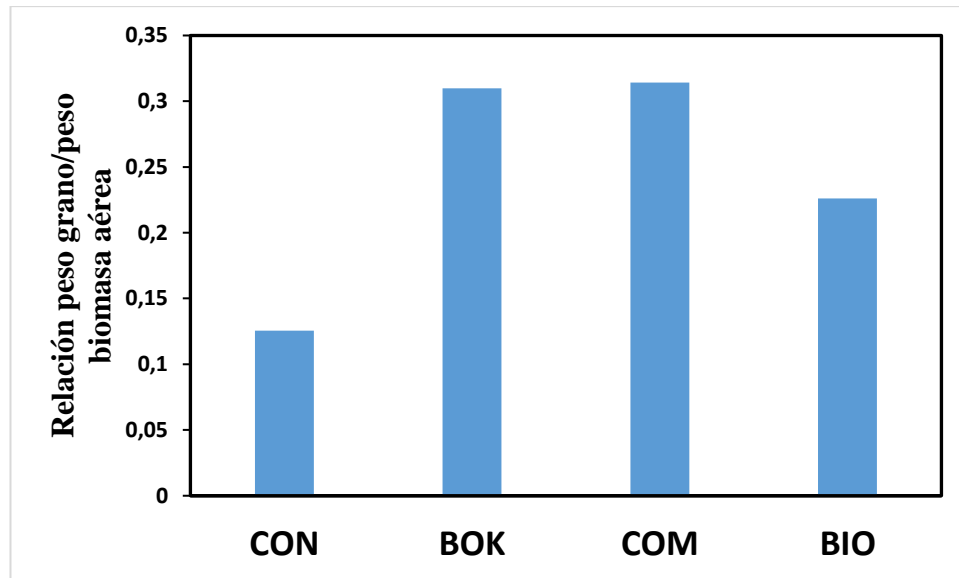


Figura 10. Razón peso de grano por el peso biomasa aérea en las unidades experimentales que no recibieron nada (CON), y en aquellas con bokashi (BOK), compost (COM) y biochar (BIO). Los valores son el promedio de 4 réplicas. La desviación típica no se muestra, pero el coeficiente de variación fue inferior al 45 %, y promedió 32.4 %.

La producción de grano en aquellas unidades experimentales en las que no se aplicó nada, que es el manejo típico en el poblado batwa, promedió tan solo 153.5 kg ha⁻¹ (Figura 11). Este valor promedio fue significativamente más bajo ($P < 0.05$; Anova de una vía) que aquel observado cuando se aplicó biochar, bokashi o compost. La mayor producción promedio (2100 kg granos de maíz por hectárea) se obtuvo cuándo se aplicó bokashi y valores intermedios cuándo se aplicó biochar (1012.5 kg ha⁻¹) y compost (1325 kg ha⁻¹) (Figura 1).

No hubo diferencias significativas en la producción promedio de granos de maíz entre aquellas unidades con compost y biochar, pero éstas fueron significativamente inferiores a aquellas con bokashi, pero superiores con respecto al suelo control (figura 11).

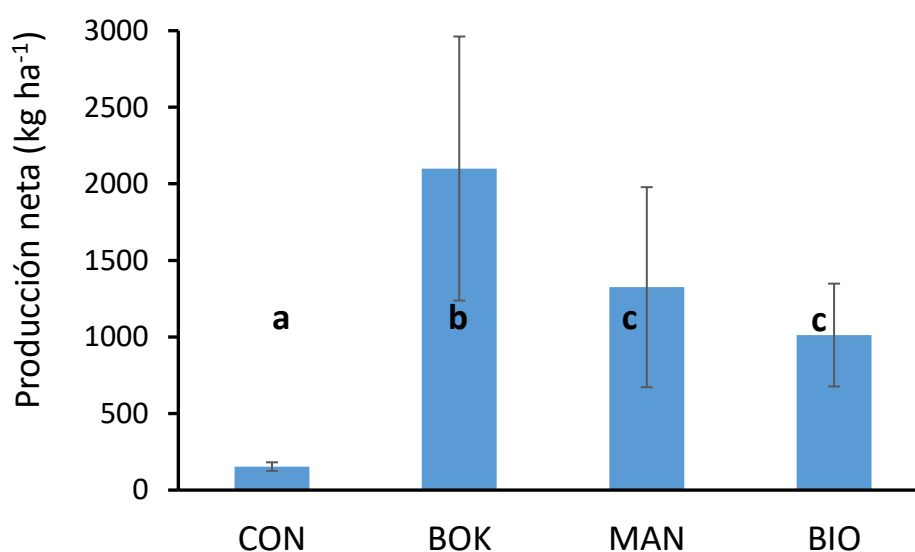


Figura 11. Producción neta de granos de maíz (A) cuándo no se aplicó ninguna fuente de materia orgánica y nutrientes (CON), bokashi (BOK), compost (COM) y biochar (BIO). Los valores representan el promedio de 4 réplicas y las barras la desviación típica. Distintas letras denotan diferencias significativas ($P < 0.05$; ANOVA de una vía).

La paja cosechada, es decir hojas y tallos, en el suelo control (1400 kg biomasa seca ha⁻¹) fue significativamente inferior que en el resto de tratamientos. Al igual que lo observado en la producción de granos de maíz, la mayor producción promedio de paja (6458.3 kg ha⁻¹) se obtuvo con el bokashi que fue significativamente mayor que con estiércol (4333,3 kg ha⁻¹) y con biochar (4586.6 kg ha⁻¹), sin que hubiese diferencias significativas entre estos dos últimos (Figura 12)

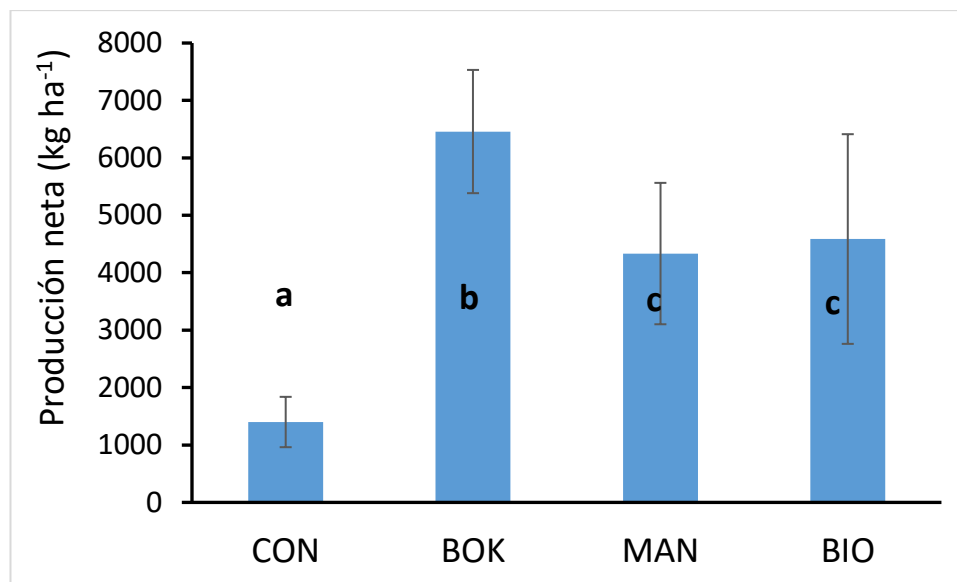


Figura 12. Producción neta de paja (hojas y tallos) cuándo no se aplicó ninguna fuente de materia orgánica y nutrientes (CON), bokashi (BOK), estiércol (MAN) y biochar (BIO). Los valores representan el promedio de 4 réplicas y las barras la desviación típica. Distintas letras denotan diferencias significativas ($P < 0.05$; ANOVA de una vía).

La producción de esqueletos de mazorca, principal subproducto cuándo se desgranar las mazorcas, en los tratamientos con bokashi, biochar y estiércol osciló entre 533 y 850 kg ha⁻¹, sin que hubiese diferencias significativas entre éstos (figura 13). No obstante, fueron significativamente superiores que el promedio obtenido en el control (142.9 kg ha⁻¹).

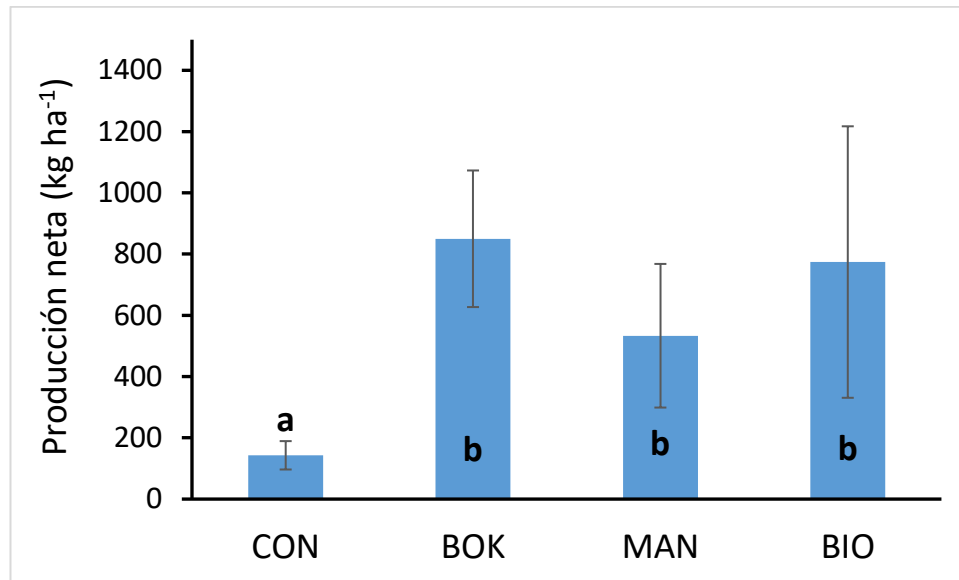


Figura 13. Producción neta de paja mazorcas libres de granos cuándo no se aplicó ninguna fuente de materia orgánica y nutrientes (CON), bokashi (BOK), estiércol (MAN) y biochar (BIO). Los valores representan el promedio de 4 réplicas y las barras la desviación típica. Distintas letras denotan diferencias significativas ($P < 0.05$; ANOVA de una vía).

En el suelo control se obtuvo una producción promedio de biomasa aérea total de 1696.2 kg ha⁻¹, valor que fue el 18.0, 27.4 y 26.6 % de aquellos obtenidos con bokashi, biochar y compost, respectivamente (figura 14). La producción con bokashi (9408.3 kg ha⁻¹) fue significativamente superior ($P < 0.05$) que aquella registrada con biochar (6373.1 kg ha⁻¹) y compost (6191.6 kg ha⁻¹), sin que hubiese diferencias significativas entre estas dos últimas.

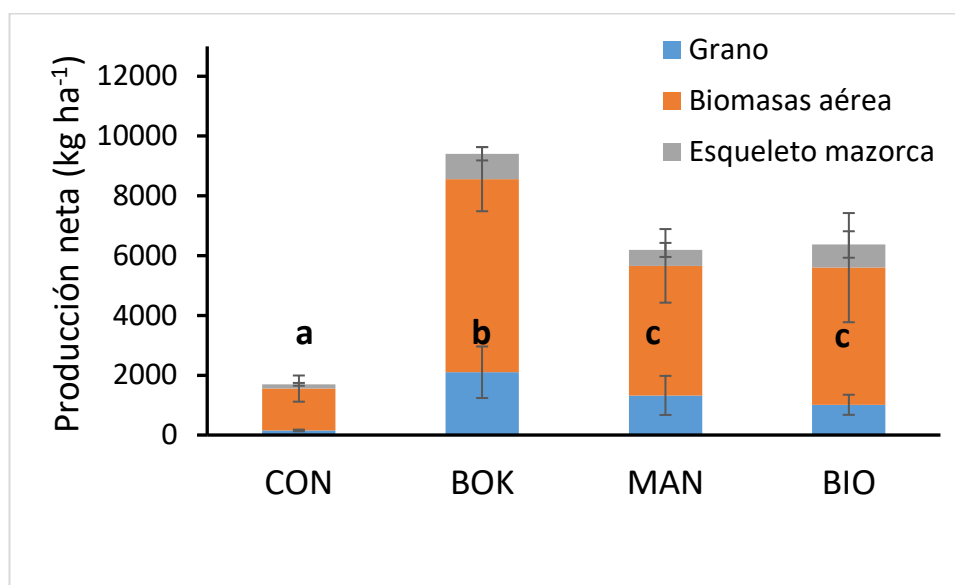


Figura 14. Producción neta de granos de maíz (A), paja (B) y esqueleto de mazorca (C) cuando no se aplicó ninguna fuente de materia orgánica y nutrientes (CON), bokashi (BOK), estiércol (COM) y biochar (BIO). Los valores representan el promedio de 4 réplicas y las barras la desviación típica. Distintas letras denotan diferencias significativas ($P < 0.05$; ANOVA de una vía).

6.2. Efecto residual de las fuentes de materia orgánica

Este efecto se cuantificó comparando la producción en las distintas unidades experimentales del periodo de crecimiento octubre 2018-marzo del 2019. En esta campaña todas las unidades experimentales que no recibieron cal (incluyendo aquel control) recibieron el polvo de hueso de cabra triturado y estiércol y, por lo tanto, la diferencia en la producción entre aquellas que recibieron bokashi, compost o biochar en la campaña anterior con respecto al control, denota el efecto residual de estas fuentes de materia orgánica

La figura 15 muestra el número de plantas que se desarrollaron en las unidades experimentales de 6 m² que recibieron el tratamiento control (CON-NCAL), bokashi (BOK-NCAL), compost (COM-NCAL) y biochar (BIO-NCAL) en el periodo de crecimiento anterior. OM-NCAL (55) fue inferior que en el resto de tratamientos. El valor promedio en el número de plantas osciló entre 55 (compost en la campaña anterior) y 57.5 (biochar en la campaña anterior) sin que hubiera diferencias significativas entre las unidades experimentales.

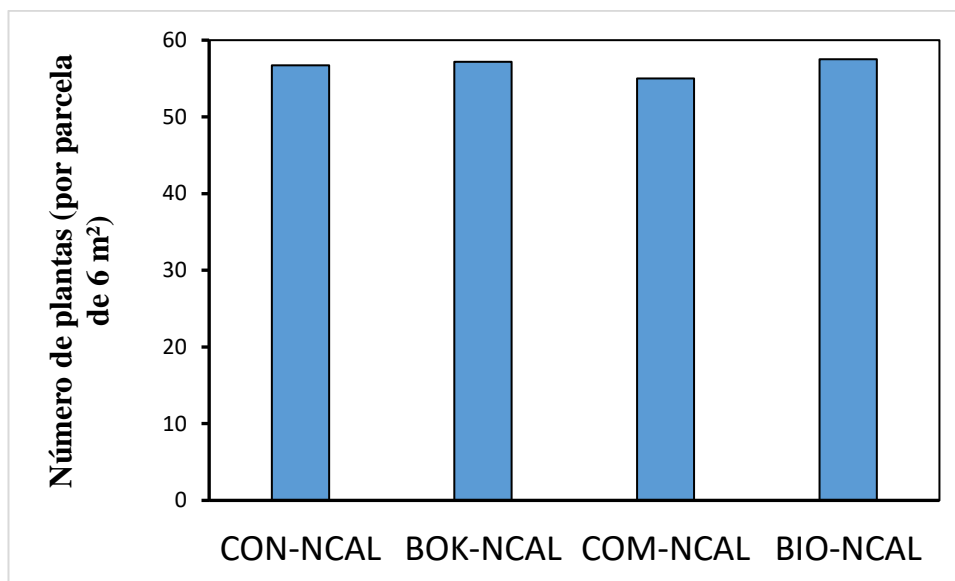


Figura 15. Número de plantas en 6 m² en las unidades experimentales que no recibieron nada (CON-NCAL), y en aquellas con bokashi (BOK-NCAL), compost (COM-NCAL) y biochar (BIO-NCAL) en la campaña anterior. Los valores son el promedio de 4 réplicas. La desviación típica no se muestra, pero el coeficiente de variación no fue superior al 5 %.

El número promedio de mazorca en CON-NCAL (33) fue significativamente (anova de una vía, $P < 0.05$) inferior a aquel registrado en los otros tratamientos. El mayor número promedio de mazorcas (44.5) se observó en la unidad BOK-NCAL que no fue significativamente distinto a aquel con BIO-NCAL (42) y COM-NCAL (38.5) (figura 16).

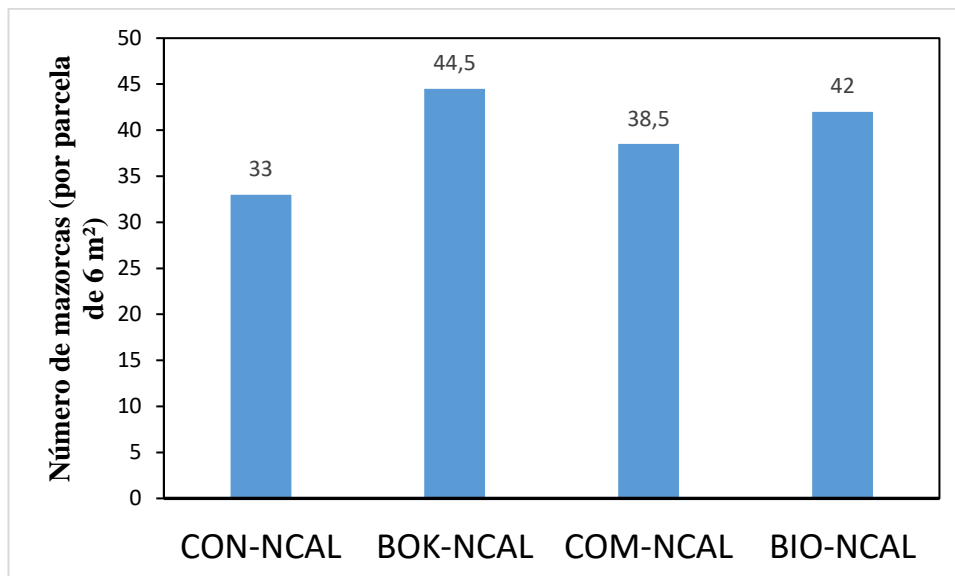


Figura 16. Número promedio de mazorcas de maíz en 6 m² en las unidades experimentales que no recibieron nada (CON-NCAL), y en aquellas con bokashi (BOK-NCAL), compost (COM-NCAL) y biochar (BIO-NCAL) en la campaña anterior. Los valores son el promedio de 4 réplicas. La desviación típica no se muestra, pero el coeficiente de variación no fue superior al 16 % y promedió 12.6 %.

El mayor promedio de la razón entre el peso del grano por el peso de la biomasa se registró en el tratamiento BOK-NCAL (0.56) (figura 17). Éste fue significativamente superior que en el resto de tratamientos (anova de una vía, $P < 0.05$). La relación promedio con CON-NCAL (0.39), COM-NCAL (0.31) y BIO-NCAL (0.3) no fueron significativamente distinta entre ellos (figura 17).

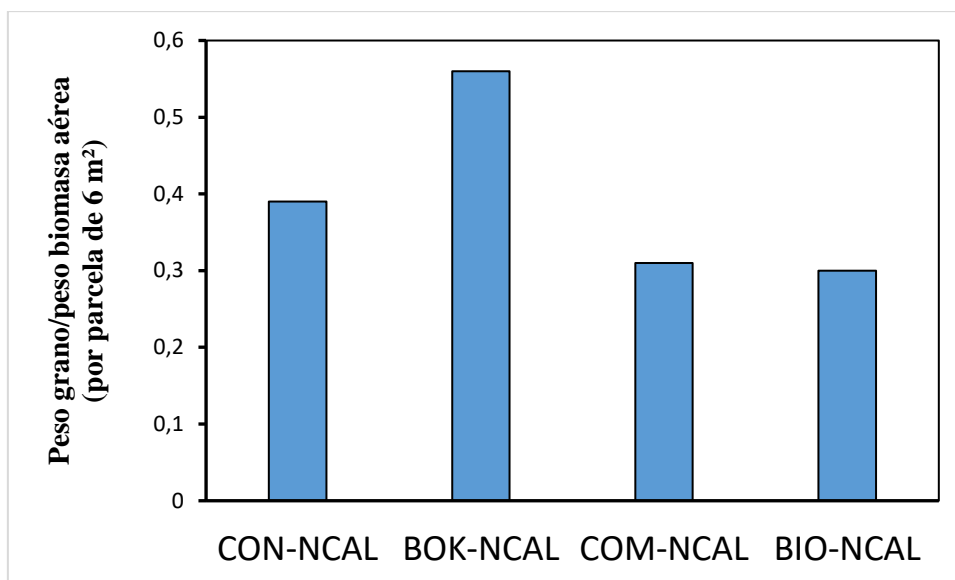


Figura 17. Promedio de la relación peso grano/biomasa aérea en las unidades experimentales que no recibieron nada (CON-NCAL), y en aquellas con bokashi (BOK-NCAL), compost (COM-NCAL) y biochar (BIO-NCAL) en la campaña anterior. Los valores son el promedio de 4 réplicas. La desviación típica no se muestra. El coeficiente de variación fue inferior al 64 % y promedió 34.4 %.

La producción de grano en aquellas unidades experimentales de 6m² CON-NCAL promedió 1212.5 kg ha⁻¹. Este valor promedio fue significativamente más bajo ($P < 0.05$; Anova de una vía) que aquel observado en BIO-NCAL, BOK-NCAL o COM-NCAL.

La mayor producción promedio (4181.25 kg granos de maíz por hectárea) se registró en las parcelas de BOK-NCAL y valores intermedios en COM-NCAL (2295.83 kg ha⁻¹) y en las de BIO-NCAL (1785.41 kg ha⁻¹) (Figura 18).

No hubo diferencias significativas en la producción promedio de granos de maíz entre aquellas unidades con COM-NCAL y BIO-NCAL, pero éstas fueron significativamente inferiores a aquellas con BOK-NCAL (figura 18). La producción promedio de grano con BOK-NCAL, COM-NCAL y BIO-NCAL fue un 344 %, 89 y 47 % superiores con respecto al CON-NCAL que recibió el mismo tratamiento en la campaña octubre 2018-marzo 2019.

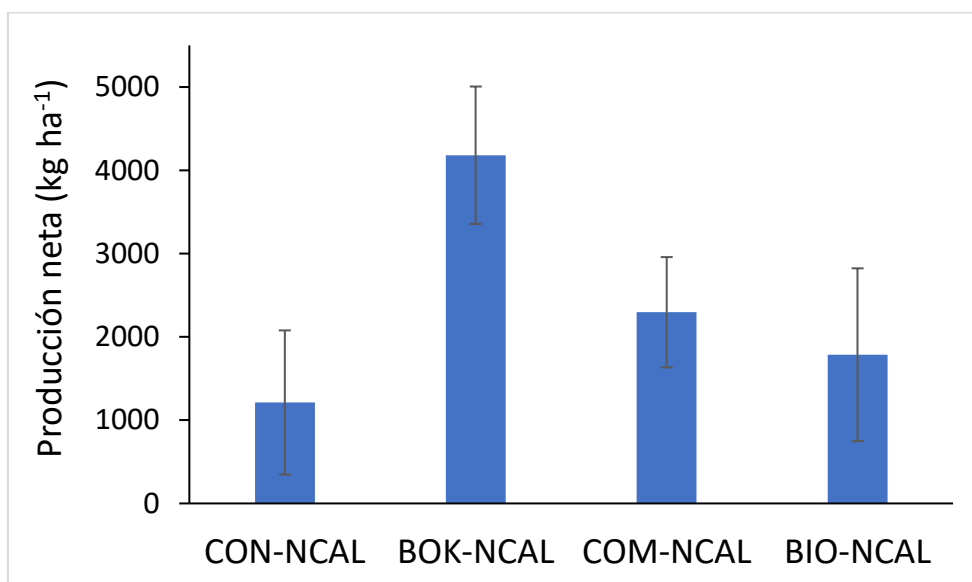


Figura 18. Producción neta de granos de maíz en las unidades experimentales que no recibieron nada (CON-NCAL), y en aquellas con bokashi (BOK-NCAL), compost (COM-NCAL) y biochar (BIO-NCAL) en la campaña anterior. Los valores son el promedio de 4 réplicas y se muestra la desviación típica. El coeficiente de variación fue inferior al 71 % y promedió 44.4 %.

La biomasa aérea cosechada en CON-NCAL (3051.61kg biomasa seca ha-1) fue significativamente inferior que en el resto de tratamientos (figura 19). La mayor producción promedio de paja (7452.64 kg ha-1) se obtuvo con el BOK-NCAL que no fue significativamente distinta que COM-NCAL (7403.35). Este último fue superior a BIO-NCAL (5350.35 kg ha-1 (Figura 19).

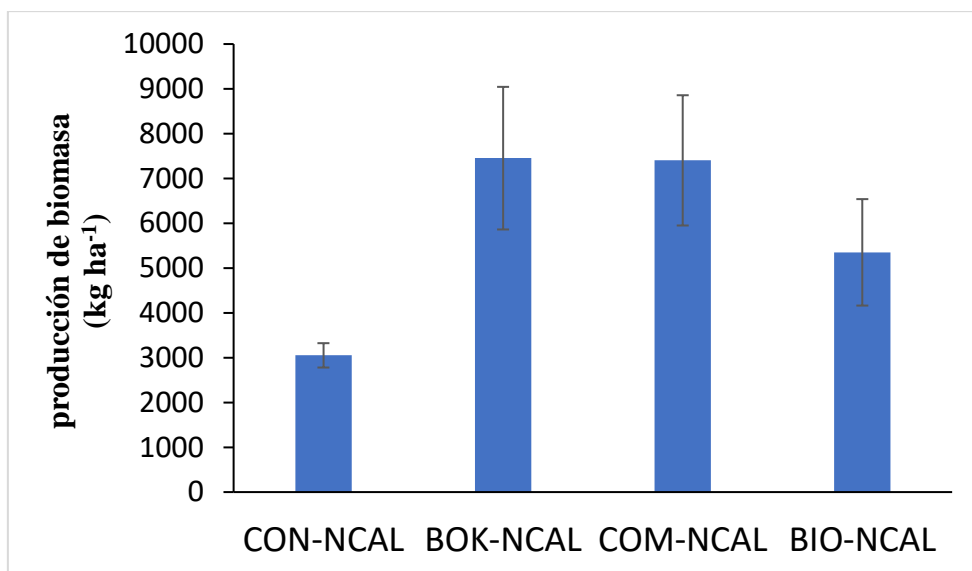


Figura 19. Producción promedio de paja (hojas y tallos) en las unidades experimentales que no recibieron nada (CON-NCAL), y en aquellas con bokashi (BOK-NCAL), compost (COM-NCAL) y biochar (BIO-NCAL) en la campaña anterior. Los valores son el promedio de 4 réplicas y se muestra la desviación típica.

La producción de esqueletos de mazorca en CON-NCAL (493.75) fue inferior que en el resto de las unidades (figura 20). La mayor cantidad de mazorca (1400) se observó en BOK-NCAL que fue significativo que en COM-NCAL (858.33) y BIO-NCAL (775), sin que hubiese diferencias significativas entre estos dos últimos (figura 20).

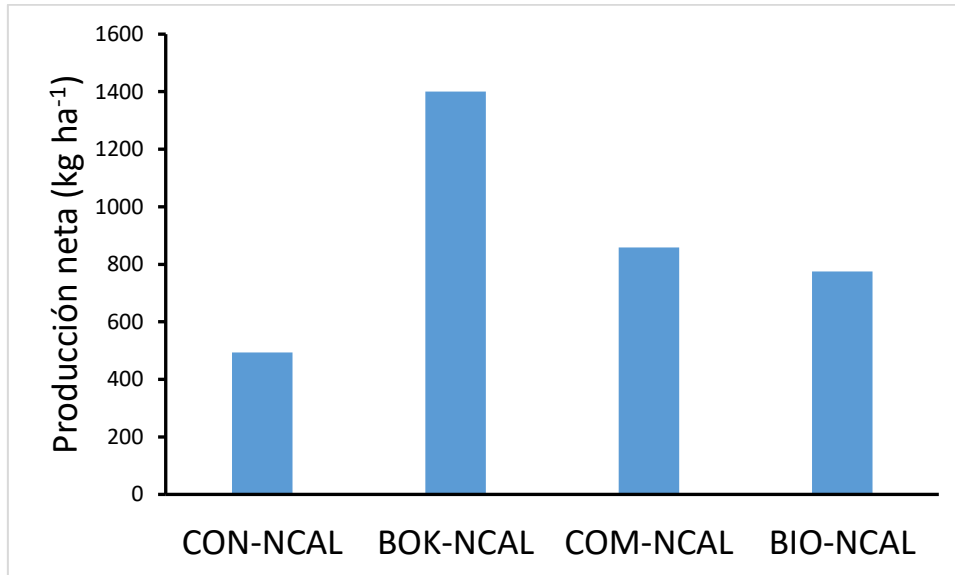


Figura 20. Producción promedio esqueletos de mazorca en las unidades experimentales que no recibieron nada (CON-NCAL), y en aquellas con bokashi (BOK-NCAL), compost (COM-NCAL) y biochar (BIO-NCAL) en la campaña anterior. Los valores son el promedio de 4 réplicas.

La figura 21 muestran la producción de grano, paja y el esqueleto de mazorca obtenidos en las distintas unidades experimentales durante el periodo de crecimiento del 2019. En el CON-NCAL la producción aérea promedió en peso seco fue 4757.8 kg ha⁻¹. En BOK-NCAL (13033 kg ha⁻¹), COM-NCAL (10557.7 kg ha⁻¹) y en BIO-NCAL (7910.7 kg ha⁻¹) fueron 2.7, 2.2 y 1.66 veces superior que el control. No hubo diferencias significativas entre BOK-NCAL y COM-NCAL, pero los valores en estos dos fueron significativamente mayores al registrado con BIO-NCAL.

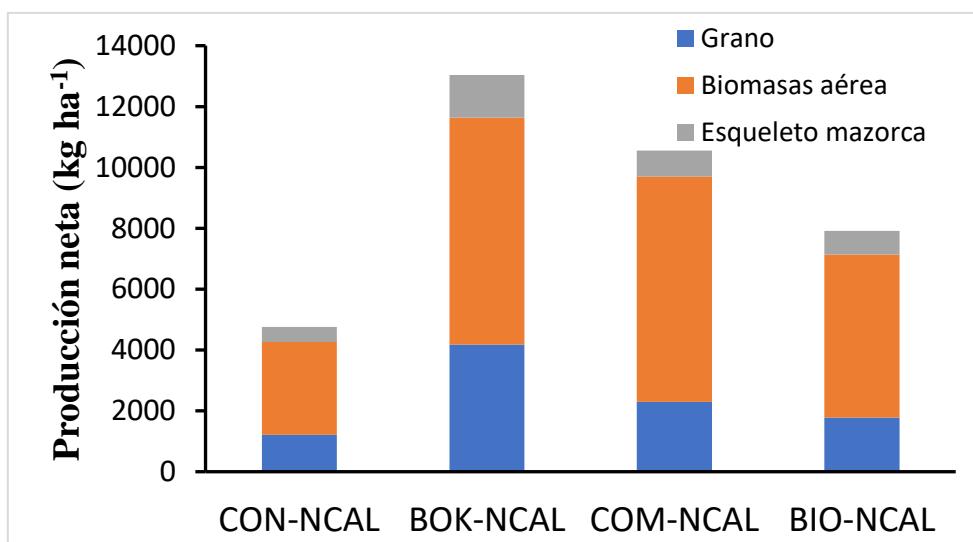


Figura 21. Producción neta de granos de maíz (A), paja (B) y esqueleto de mazorca (C) cuándo no se aplicó ninguna fuente de materia orgánica y nutrientes excepto la NCAL y el polvo de hueso de cabra (CON-NCAL), (BOK-NCAL), (COM-NCAL) y (BIO-NCAL). Los valores representan el promedio de 4 réplicas.

6.3. Efecto de la cal en la producción

La producción de grano en aquellas unidades experimentales de 6m² en las que no se aplicó nada de enmiendas, excepto la cal y el polvo de hueso CON-CAL promedió 1264.58 kg ha⁻¹ (Figura 22). Este valor promedio fue significativamente más bajo ($P < 0.05$; Anova de una vía) que aquel observado en BIO-CAL, BOK-CAL o COM-CAL.

La mayor producción promedio (5514.58 kg granos de maíz por hectárea) en las unidades de BOK-CAL y valores intermedios en COM-CAL (3650 kg ha⁻¹) y en las de BIO-CAL (2150 kg ha⁻¹)

Hubo diferencias significativas en la producción promedio de granos de maíz entre aquellas unidades con COM-CAL y BIO-CAL, pero éstas fueron significativamente inferiores a aquellas con BOK-CAL, aunque superiores con respecto al CON-CAL.

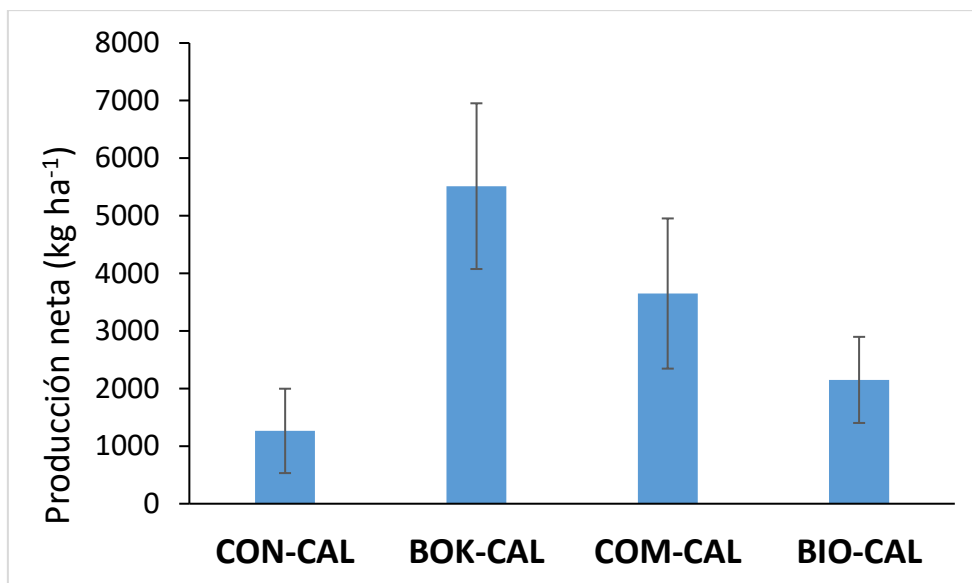


Figura 22. Producción promedio de grano en las unidades experimentales que recibieron la cal (CON-CAL), y en aquellas con bokashi (BOK-CAL), compost (COM-CAL) y biochar (BIO-CAL). Los valores son el promedio de 4 réplicas. Se muestra la desviación típica.

La biomasa aérea cosechada en CON-CAL (3721.22 kg biomasa seca ha⁻¹) fue significativamente inferior que en el resto de tratamientos. Al igual que lo observado en la producción de granos de maíz, la mayor producción promedio de paja (8535.86 kg ha⁻¹) se obtuvo con el BOK-CAL que fue significativamente mayor que COM-CAL (7034.57) y con BIO-CAL (6328.59 kg ha⁻¹), sin que hubiese diferencias muy significativas entre estos dos últimos (Figura 23).

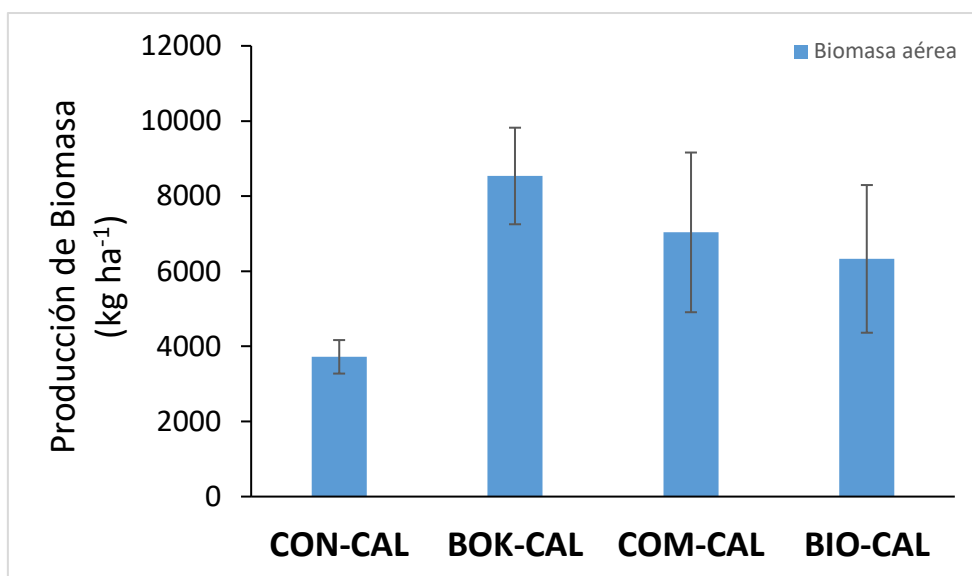


Figura 23. Producción promedio de biomasa aérea en las unidades experimentales que recibieron la cal (CON-CAL), y en aquellas con bokashi (BOK-CAL), compost (COM-CAL) y biochar (BIO-CAL). Los valores son el promedio de 4 réplicas.

La producción en CON-CAL (587.5) fue inferior que en el resto de las unidades. La mayor cantidad de mazorca (1743.75) se observó en BOK-CAL que fue significativo que en COM-CAL (1087.5) y BIO-CAL (837.5), con diferencias significativas entre estos dos últimos.

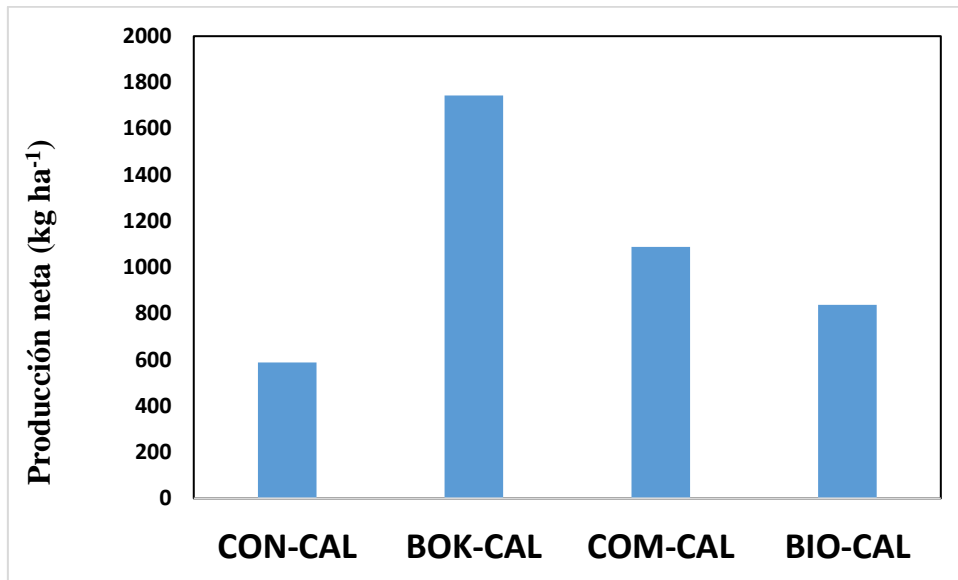


Figura 24. Producción promedio de esqueleto de mazorca en las unidades experimentales que recibieron la cal (CON-CAL), y en aquellas con bokashi (BOK-CAL), compost (COM-CAL) y biochar (BIO-CAL). Los valores son el promedio de 4 réplicas.

La figura 25 muestra la producción de grano, paja y el esqueleto de mazorca obtenidos con cal en las distintas unidades experimentales durante el periodo de crecimiento del 2019.

En el suelo CON-CAL se obtuvo una producción promedio de biomasa aérea total de 5573.3 kg ha⁻¹, valor que fue el 59.8, 27.4 y 47.3% de aquellos obtenidos con BOK-CAL, BIO-CAL y COM-CAL, respectivamente (figura 25). La producción con BOK-CAL (15794.19 kg ha⁻¹) fue significativamente superior ($P < 0.05$) que aquella registrada con BIO-CAL (9316.09 kg ha⁻¹) y COM-CAL (11772.07 kg ha⁻¹), con diferencias significativas entre estas dos últimas.

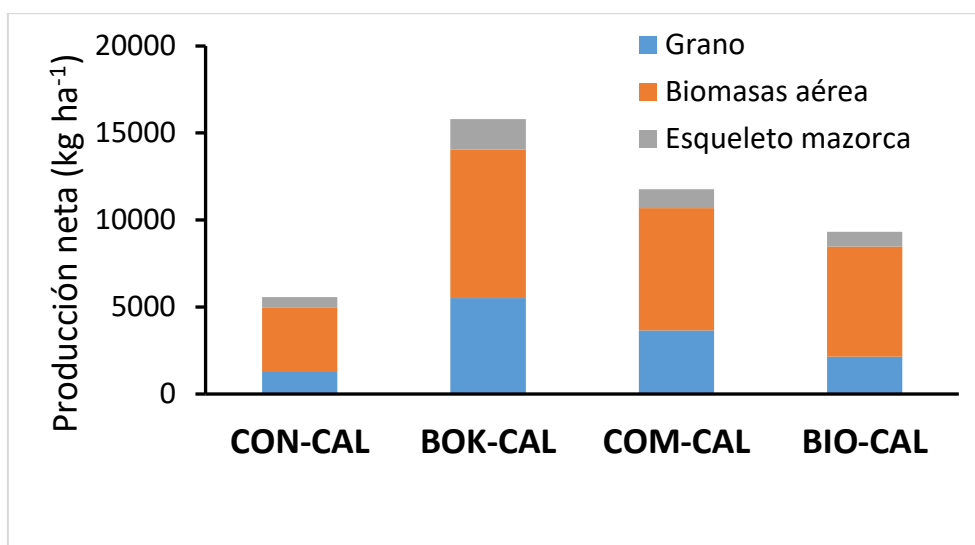


Figura 25. Producción neta de granos de maíz (A), paja (B) y esqueleto de mazorca (C) cuándo no se aplicó ninguna fuente de materia orgánica y nutrientes excepto la cal y el polvo de hueso de cabra (CON-CAL), (BOK-CAL), (COM-CAL) y (BIO-CAL). Los valores representan el promedio de 4 réplicas y las barras la desviación típica. Distintas letras denotan diferencias significativas ($P < 0.05$; ANOVA de una vía).

El número de plantas en BOK-CAL (55) fue inferior que en el resto de tratamientos. El mayor número promedio de plantas de maíz (58) se observó en el tratamiento con BIO-CAL que no fue nada significativo que con CON-CAL (57.25) y COM-CAL (56), sin que hubiera diferencias significativas entre estos dos últimos.

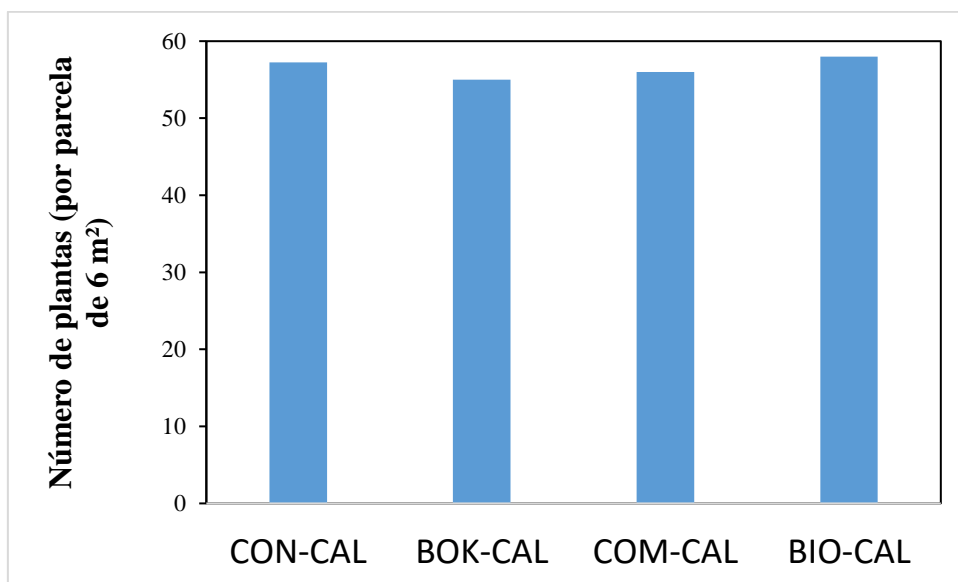


Figura 26. Número de plantas por parcela de 6m² las unidades experimentales que recibieron la cal (CON-CAL), y en aquellas con bokashi (BOK-CAL), compost (COM-CAL) y biochar (BIO-CAL). Los valores son el promedio de 4 réplicas.

El número de mazorca en CON-CAL (35) fue inferior que en el resto de las unidades. El mayor número promedio de mazorcas (44.5) se observó en la unidad BOK-CAL que no fue significativamente mayor que con COM-CAL (44) y BIO-CAL (43), sin que hubiera diferencias significativas en las ultimas subparcelas de COM-CAL y BIO-CAL.

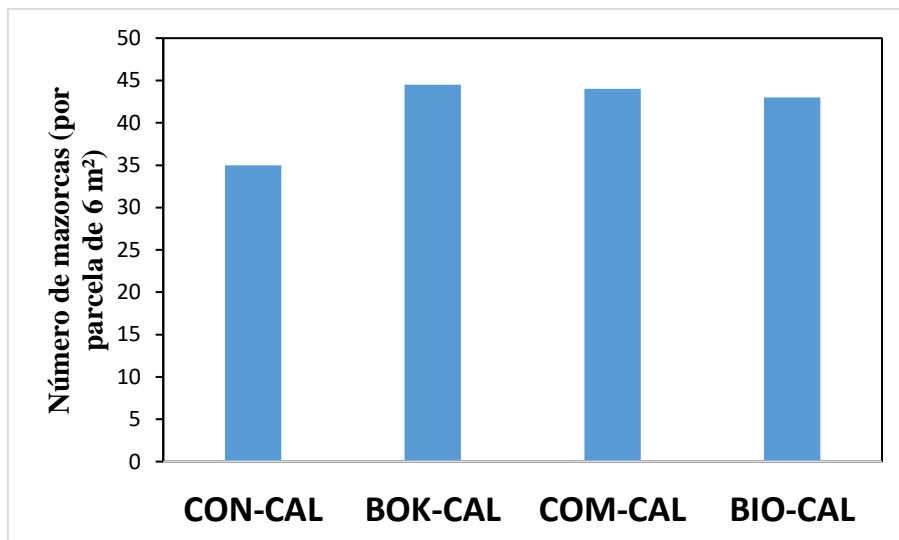


Figura 27. Número de mazorcas por parcela de 6m² las unidades experimentales que recibieron la cal (CON-CAL), y en aquellas con bokashi (BOK-CAL), compost (COM-CAL) y biochar (BIO-CAL). Los valores son el promedio de 4 réplicas.

La razón entre el peso del grano por el peso de la biomasa fue superior en BOK-CAL (0.63 gramos) que en el resto de las unidades de 6 m². Esa relación fue significativamente mayor que con CON-CAL (0.32), BIO-CAL (0.35) y CON-CAL (0.32), sin que hubiera diferencias significativas en las dos últimas subparcelas.

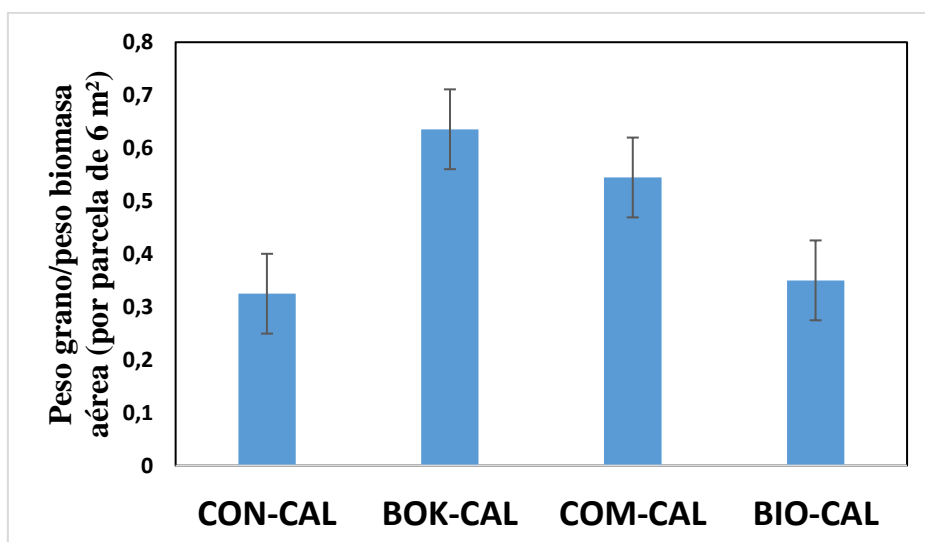


Figura 28. La razón entre el peso de grano por el peso de biomasa aérea por parcela de 6m² las unidades experimentales que recibieron la cal (CON-CAL), y en aquellas con bokashi (BOK-CAL), compost (COM-CAL) y biochar (BIO-CAL). Los valores son el promedio de 4 réplicas.

La figura 29 muestra la relación entre la producción de grano, biomasa aérea y esqueletos de mazorcas con (eje x) y sin (eje y) cal.

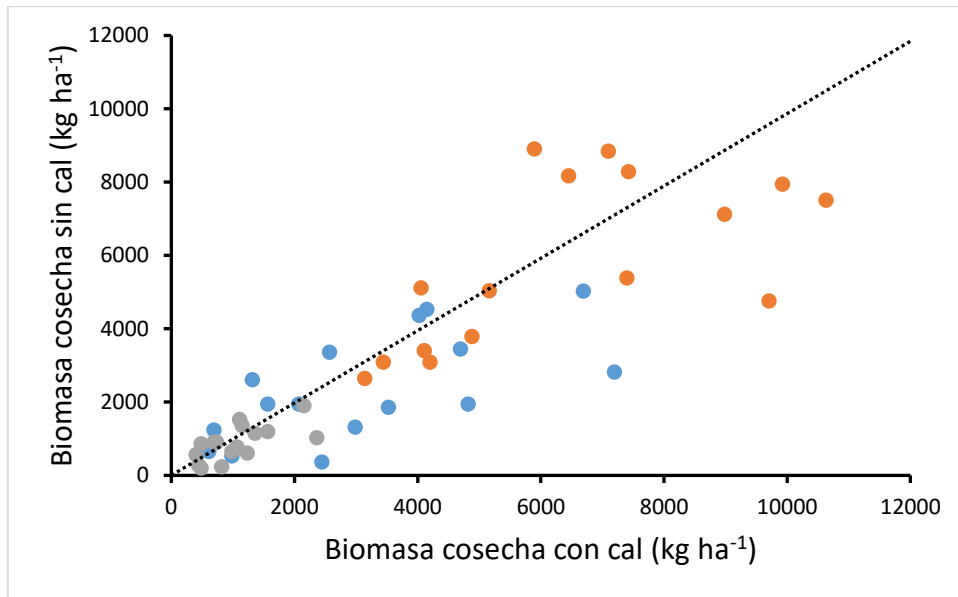


Figura 29. Producción de granos de maíz (azul), biomasa aérea (naranja) y esqueleto de mazorca (gris) con (eje X) y sin (eje Y) cal en el conjunto de las unidades experimentales. La línea discontinua es aquella que pasa por los puntos en los que ambas producciones son iguales.

Aunque hubo una tendencia de mayores producciones de granos de maíz y biomasa aérea con cal para el conjunto de las unidades experimentales, las diferencias no fueron significativas ($P = 0.21$; anova de una vía). Sin embargo, para el caso del bokashi, la producción de granos ($5514.6 \text{ kg ha}^{-1}$) y biomasa aérea (8535 kg ha^{-1}) con cal fue significativamente superior que sin cal; 4181 y 7452 kg ha^{-1} para granos de maíz y biomasa aérea, respectivamente. Asimismo, la producción promedio de granos de maíz con compost fue superior con cal (3650 kg ha^{-1}) que sin cal (2295 kg ha^{-1}).

6.4. Producción anual

Cuando se sumó las producciones de la campaña de marzo 2018-julio 2018 con las producciones de octubre 2018-marzo 2019 sin cal, la producción anual (grano, paja y esqueleto de mazorca) en las unidades experimentales control fue de 6454,11 kg ha⁻¹, valor que fue el 28.75, 45.18 y 38.53 % de aquellos obtenidos con bokashi, biochar y compost, respectivamente (figura 30). La producción con bokashi (22442,23 kg ha⁻¹) fue significativamente superior ($P < 0.05$) que aquella registrada con biochar (14283,89 kg ha⁻¹) y compost (16749,18 kg ha⁻¹), con diferencias significativas entre estas dos últimas.

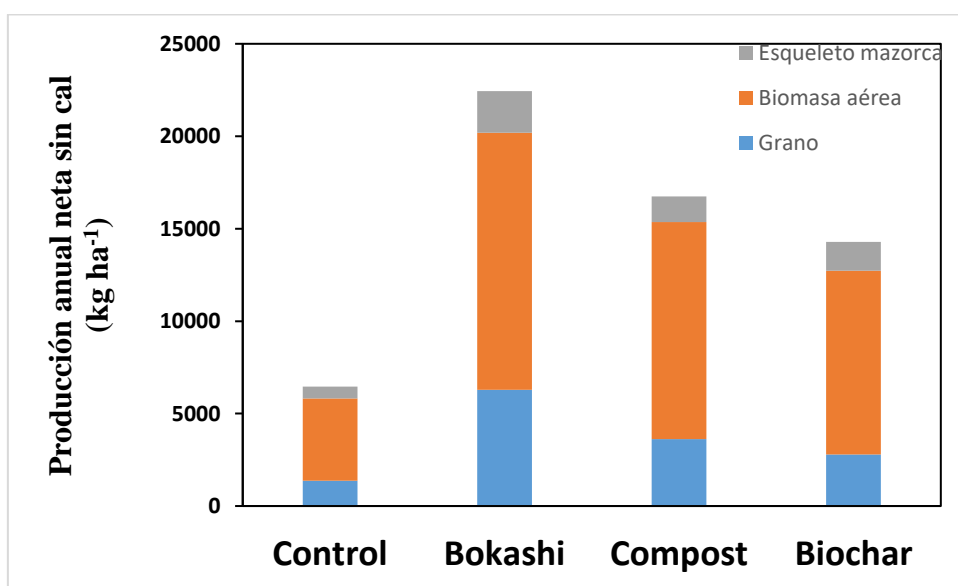


Figura 30. Producción anual (marzo 2018-marzo 2019) de grano, biomasa aérea y esqueleto de mazorca sin cal en las parcelas de control, bokashi, compost y biochar. Los valores representan el promedio de 4 réplicas y las barras la desviación típica. Distintas letras denotan diferencias significativas ($P < 0.05$; ANOVA de una vía).

Cuando se sumó las producciones de la campaña de marzo 2018-julio 2018 con las producciones de octubre 2018-marzo 2019 con cal, la producción anual (grano, paja y esqueleto de mazorca) en las unidades experimentales control fue de 7269.55kg ha⁻¹, valor que fue el 28.84, 46.33 y 40.46 % de aquellos obtenidos con bokashi, biochar y compost, respectivamente (figura 30). La producción con bokashi (25202.5 kg ha⁻¹) fue significativamente superior ($P < 0.05$) que aquella registrada con biochar (15689 kg ha⁻¹) y compost (17963.74 kg ha⁻¹), con diferencias significativas entre estas dos últimas.

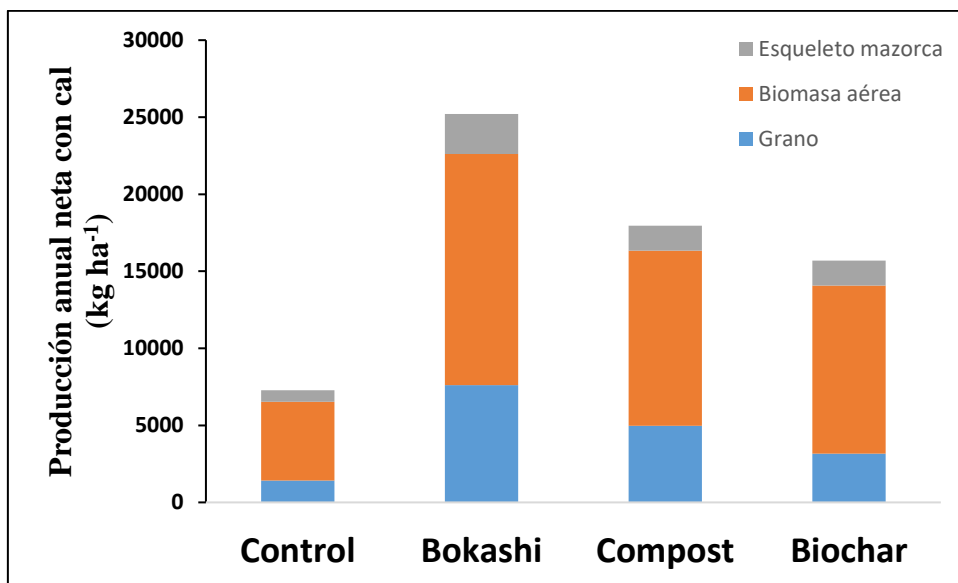


Figura 31. Producción anual de grano, biomasa aérea y esqueleto de mazorca con cal en las parcelas de control, bokashi, compost y biochar. Los valores representan el promedio de 4 réplicas y las barras la desviación típica. Distintas letras denotan diferencias significativas ($P < 0.05$; ANOVA de una vía).

7. DISCUSIÓN

El rendimiento del maíz en suelos no enmendados en la campaña durante el periodo seco fue muy bajo y casi un orden de magnitud inferior al rendimiento medio del maíz de todo Burundi, que ha aumentado durante la última década de 1,0 (2009) a 1,3 (2019) toneladas por hectárea (FAOSTAT), y casi 100 veces menos de lo registrado en países industrializados de USA y Europa. Este bajo rendimiento fue debido a que no todas las semillas germinaron, al bajo número de mazorcas por planta y a la baja razón peso grano: biomasa aérea. Estos bajos rendimientos pone de manifiesto la necesidad de Burundi de aumentar la productividad, reduciendo, en la medida de lo posible, aquellos factores que disminuyen el rendimiento. Entre ellos destacan los nutrientes. Si los nutrientes retirados con la cosecha no son reemplazados, los rendimientos no pueden ser elevados, especialmente a medio y largo plazo. Hay, básicamente, tres formas de reemplazarlos: a través de fertilizantes químicos de síntesis, fertilizantes orgánicos procesados o de no disponibilidad local y una combinación de éstos.

Teniendo en cuenta que el producto interior bruto per cápita de Burundi es inferior a 250 dólares por persona y año (y con una clara tendencia de disminución durante los últimos años debido, principalmente, a que el producto interior bruto crece anualmente más lentamente que la población) y que el destino del maíz producido y de otros cultivos de cereales (trigo, cebada y avena, principalmente) es, principalmente, para autoconsumo, la importación y el uso de fertilizantes químicos de síntesis no es, en la actualidad, una opción. Este hecho resalta la importancia de este trabajo de Máster dirigido a transferir conocimiento de cómo se pueden revalorizar las fuentes de materia orgánica disponibles localmente para reemplazar los nutrientes retirados con la cosecha.

En el periodo de crecimiento, que incluyó tres meses del periodo de sequía (mayo, junio y julio), la producción de granos de maíz y biomasa aérea, con bokashi, estiércol y biochar fue, característicamente, más de 10 veces mayor que en el control. Al añadir estas fuentes de materia orgánica se están añadiendo nutrientes que reducen, al menos parcialmente, la posible limitación impuesta por la escasez de nutrientes disponibles. Este aumento fue debido a un número mayor de plantas que se desarrollaron y a una mayor cantidad de mazorcas por planta. Es de destacar que el aumento en el rendimiento para el caso del bokashi fue casi del doble con respecto al promedio en Burundi.

Hay muchas investigaciones que han encontrado que los rendimientos del maíz, y otros cereales, con fuentes de materia orgánica como el bokashi, estiércol y el biochar, son comparables a aquellos obtenidos con fertilizantes químicos de síntesis. Esto no es exclusivo de los cereales. Por ejemplo, Pei-Sheng et al. (2002) encontraron que el crecimiento vegetativo y reproductivo de la planta del cacahuete con bokashi fueron muy elevados y que la biomasa de los brotes y las raíces en el tratamiento con bokashi fueron significativamente más altos que aquel registrado con el tratamiento químico. También, Sagarpa (2010), mostró en un monocultivo de cebolla que el rendimiento con bokashi

(24,5 t ha⁻¹) fue similar al promedio nacional (28,2 t ha⁻¹), indicando que el uso de esta enmienda es factible para la producción de cebolla.

Es también destacable el aumento, con respecto al control, de la producción de grano y biomasa aérea con biochar. Este contiene elevados niveles de un carbono (típicamente entre 60-70 % en peso seco) con cierto grado de cristalización, con periodos de permanencia en el suelo de decenas y cientos de años y, por tanto, no es un carbono disponible para el crecimiento y desarrollo de los microorganismos del suelo. A pesar de no ser una fuente de carbono orgánico disponible y de presentar un nitrógeno orgánico poco disponible en la escala temporal del experimento, el rendimiento fue muy superior con respecto al control. Posiblemente, el potasio, el fósforo y otros cationes del biochar, fueron los principales responsables del incremento en el rendimiento con respecto al control.

Teniendo en cuenta que la principal fuente de energía en las zonas rurales de Burundi es biomasa forestal, se cuenta con numerosas zonas de acopio de carbón vegetal distribuidas prácticamente por todas las zonas de Burundi. Esto favorece que aquella fracción de carbón vegetal que no se pueda vender por su pequeño tamaño y que se acumule en la parte de abajo de los montones de acopio, pueda servir como una fuente de biochar muy asequible para los agricultores de Burundi para mejorar los rendimientos.

A pesar de que las distintas fuentes de materia orgánica aportaron la misma cantidad de nitrógeno (70 kg N ha⁻¹), los mayores rendimientos se obtuvieron con bokashi. Esto, posiblemente, es debido a que esta fuente de materia orgánica tan elaborada, fue la que más potasio, fósforo y otros microelementos aportó al suelo. Además, durante la elaboración de esta fuente de materia orgánica se potenció la cantidad y diversidad de organismos ya que se mezclaron fuentes de energía, por ejemplo, melaza, con fuentes de proteínas y con una alícuota de diversidad de organismos (suelo forestal). Una vez se aplicó el bokashi, estos organismos, seguramente, potenciaron la mineralización de la materia orgánica del suelo facilitándose la disponibilidad de macro y micronutrientes.

Los rendimientos en el periodo de cultivo entre julio de 2018 y marzo de 2019 fueron significativamente mayores que en el periodo entre marzo de 2018 y julio de 2018. Sin embargo, no podemos saber si esto se debió a que este periodo coincidió con el de las lluvias y, por lo tanto, las precipitaciones fueron superiores, o por la aplicación en el suelo de huesos de cabra incinerados y estiércol. Posiblemente sea una combinación de ambos factores. Esto sugiere que la producción de granos de maíz durante las campañas en el periodo de sequía puede, en parte, ser utilizada para almacenar y conservar las semillas para la campaña de lluvias.

En esta campaña, las producciones de grano y biomasa aérea en las unidades experimentales que en la campaña anterior fueron control, fueron significativamente inferiores a aquellas que en la campaña anterior recibieron alguna fuente de materia orgánica. Es decir, los efectos del bokashi, compost y biochar sobre las producciones no se encuadraron en el marco temporal de una campaña, sino que se extendieron a la

siguiente. Posiblemente, estas fuentes de materia orgánica mejoraron algunas de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo implicadas en mejorar la producción de las plantas.

Aunque en el conjunto de las unidades experimentales la aplicación de cal no produjo un aumento significativo en la producción (aunque sí una tendencia clara de aumento), la producción de granos de maíz y biomasa aérea en las unidades experimentales que en la campaña anterior tenían bokashi y compost fue significativamente superior con cal. En concreto un 31% y un 60 % mayor con cal para el bokashi y el compost, respectivamente. Con cal, el pH del suelo subió ligeramente lo que ha podido provocar un efecto beneficioso en el cultivo. Aumentos ligeros en el pH del suelo permiten que haya más disponibilidad de fósforo y otros cationes y, sobre todo, reduce la toxicidad del aluminio disponible. No obstante, esto también debería de ocurrir en el control y en el biochar. Es posible que por el hecho de añadir en la campaña materia orgánica con el bokashi y compost, el ascenso en los valores del pH del suelo haya sido mayor y, por tanto, también mayor el beneficio de la cal en la producción en estas unidades experimentales.

8. CONCLUSIONES

1.- Con fuentes de materia orgánica localmente disponible y con distinto grado de procesamiento (bokashi, biochar y estiércol), la producción de grano y biomasa aérea en dos periodos de cultivo en un año fue significativamente superior que en el control. Este estudio demuestra que es posible aumentar los rendimientos en Burundi usando fuentes de materia orgánica localmente disponible y potenciando la transferencia de conocimiento, especialmente en procesamiento de estas, como por ejemplo bokashi.

2.- Los mayores rendimientos de granos de maíz y biomasa aérea se obtuvieron con el bokashi. Posiblemente, los mayores niveles de fósforo, potasio y otros microelementos, junto con la mayor cantidad y diversidad de microorganismos, fueron, conjuntamente, los responsables de estos rendimientos. Por tanto, se debería fomentar también la fabricación de enmiendas alternativas como bokashi pero con la receta del material burundés que pueda estar al alcance de los campesinos a unos precios asumibles.

3.- A pesar de que en el biochar el carbono y el nitrógeno son refractarios, la aplicación de este aumentó los rendimientos de forma significativa. La relativa elevada disponibilidad del biochar en Burundi, ya que la principal fuente de energía es la quema de biomasa, y su elevado grado de distribución espacial, hacen que la aplicación de este sea una estrategia adecuada para mejorar el rendimiento de los cultivos.

4.- Hubo un efecto significativo residual. Esto sugiere que los efectos de las fuentes de materia orgánica sobre la producción de maíz en un ciclo de crecimiento posterior no se circunscribieron exclusivamente al aporte de nutrientes, sino a la mejora en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

5.- El efecto de la cal en el aumento de los rendimientos de granos y biomasa de maíz, sólo fue significativo en el bokashi (un 31 %) y compost (68 %), que fueron los tratamientos que recibieron mayor cantidad de materia orgánica. Más del 60% de las tierras de Burundi están ocupadas por suelos antiguos muy alterados que tienen valores bajos de bases de cambio (Ca, Mg) y, por lo tanto, son ácidos y con niveles de aluminio disponible que llevan a ser tóxicos. Este estudio pone de manifiesto que la combinación de materia orgánica y la cal pueden mejorar el rendimiento a través de la subida del pH de estos suelos ácidos.

6.- La producción anual de granos de maíz alcanzó 7.6 toneladas por hectárea usando semillas locales, que son resistentes a las plagas y que se adaptan de la mejor manera a los suelos burundeses. Esta producción puede rivalizar con la de EE. UU (9.7 toneladas por hectárea) y otros países de Europa donde usan fertilizantes químicos de síntesis, herbicidas, insecticidas, variedades de semillas mejoradas genéticamente y a veces un sistema de irrigación para poder producir más. Por tanto, aumentar los rendimientos en Burundi es posible usando fuentes de materia orgánica baratas y potentes, sería una alternativa a los fertilizantes químicos de síntesis costosos que los agricultores no se pueden permitir. Además de la preocupación por los efectos adversos a largo plazo de su uso, tanto para la salud del suelo como para el medio ambiente.

9. BIBLIOGRAFÍA

Álvarez-Solís, J. D., Mendoza-Núñez, J. A., León-Martínez, N. S., Castellanos-Albores, J., & Gutiérrez-Miceli, F. A. (2016). Effect of bokashi and vermicompost leachate on yield and quality of pepper (*Capsicum annuum*) and onion (*Allium cepa*) under monoculture and intercropping cultures. *International Journal of Agriculture and Natural Resources*, 43(2), 243-252.

Baghdadli, I., Harborne, R., & Rajadel, T. M. (Eds.). (2008). *Breaking the cycle: A strategy for conflict-sensitive rural growth in Burundi*. The World Bank.

Cheveny, C. (1994). La dégradation chimique des sols en Bretagne. *Etude et gestion des sols*, 1, 7-21

Cazenave-Piarrot, A. (2004). Burundi : une agriculture à l'épreuve de la guerre civile. *Les Cahiers d'Outre-Mer. Revue de géographie de Bordeaux*, 57(226-227), 313-338.

Cochet, H. (2004). Agrarian dynamics, population growth and resource management: The case of Burundi. *GeoJournal*, 60, 111-122.

Dugué, P. (1998). Gestion de la fertilité et stratégies paysannes. Le cas des zones de savanes d'Afrique de l'Ouest et du Centre. *Agric. Dév.* 13–20.

Fall, S.T., Fall, A.S., Cissé, I., Badiane, A., Fall, C.A., et Diao, M.B. (2000). Intégration horticulture-élevage dans les systèmes agricoles urbains de la zone des Niayes (Sénégal). *Bull. APAD N°19*.

FAO. (2009). *La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050. Cómo alimentar al mundo en 2050*.

Fernández Suárez, R., Morales Chávez, L. A., & Gálvez Mariscal, A. (2013). Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional: Una revisión indispensable. *Revista fitotecnica mexicana*, 36, 275-283.

Gliessman, S. R., Rosado-May, F. J., Guadarrama-Zugasti, C., Jedlicka, J., Cohn, A., Méndez, V. E., ... & Jaffe, R. (2007). Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. *Revista Ecosistemas*, 16(1).

Herrera, O. F., Vargas, O. Y., & Marín, C. P. (2000). La contaminación ambiental por el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados en el cultivo del tomate. *Scientia gerundensis*, (24), 5-12.

Hicintuka, C., & Masilya, P. M. (2013). Gestion optimale et intégrée de la fertilité des sols acides du Burundi. *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement*, (Hors-série 17).

Jones, A., Breuning-Madsen, H., Brossard, M., Dampha, A., Deckers, J., Dewitte, O., Gallali, T., Hallett, S., Jones, R., Kilasara, M., Le Roux, P., Micheli, E., Montanarella, L., Spaargaren, O., Thiombiano, L., Van Ranst, E., Yemefack, M., Zougmore R., (eds.) 2013. Soil Atlas of Africa. European Commission, Publications Office of the European Union, Luxembourg. 176 p.

Kagabo, J., & Mudandagizi, V. (1974). *Complainte des gens de l'argile: Les Twa du Rwanda (Ballad of the 'Clay-People': The Batwa of Rwanda)*. Cahiers d'Études africaines, 75-87.

Marschner, H. (2011). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Academic press.

MINAGRIE. 2008. *Stratégie Agricole Nationale 2008-2015*. Juillet 2008, Bujumbura, Burundi

Moll, H. A. J. 2005. Costs and benefits of livestock systems and the role of market and nonmarket relationships. *Agricultural Economics*, 32, 181–193

Ngaruko, F., & Nkurunziza, J. D. (2000). An economic interpretation of conflict in Burundi. *Journal of African economies*, 9(3), 370-409.

Ntiburumusi, F. (1989). [Residuals effects of liming on kaolisol productivity in the Mugamba natural region [Burundi]].

Nzigidahera, B. (2000). *Analyse de la diversité biologique végétale nationale et identification des priorités pour sa conservation*. Bujumbura, Burundi, Institut national pour l'environnement et la conservation de la nature.

Oketch, J. S., & Polzer, T. (2002). Conflict and coffee in Burundi. *op cit*, 85-156.

Pei-Sheng, Y., & Hui-Lian, X. (2002). Influence of EM Bokashi on nodulation, physiological characters and yield of peanut in nature farming fields. *Journal of Sustainable Agriculture*, 19(4), 105-112.

Pérez Vázquez, A., Leyva Trinidad, D. A., & Gómez Merino, F. C. (2018). Desafíos y propuestas para lograr la seguridad alimentaria hacia el año 2050. *Revista mexicana deficiencias agrícolas*, 9(1).

Sanchez, P. A., & Logan, T. J. (1992). Myths and science about the chemistry and fertility of soils in the tropics. *Myths and Science of Soils of the Tropics*, 29, 35-46.

Sivaguru M and Horst W J 1998 The distal part of the transition zone is the most aluminum-sensitive apical root zone of maize. *Plant Physiol.* 116, 155–163.

Wanjala, W. G., Onyango, A., Makayoto, M., & Onyango, C. (2016). Indigenous technical knowledge and formulations of thick (ugali) and thin (uji) porridges consumed in Kenya. *African Journal of Food Science*, 10(12), 385-396.

Zelem, M.-C. (2011b). La valorisation des matières organiques de la ville. Le cas des petits maraîchers de la zone périurbaine de Dakar. Rev. Etudes En Agric. Environ. -Rev. Agric. Environ. Stud. 92, 311–329.

10. REFERENCIAS WEB

<https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/10/17/nearly-half-the-world-lives-on-less-than-550-a-day>

<http://adisco.org/adisco/rapport-annuel-2019/>

<http://faolex.fao.org/docs/pdf/bur143702.pdf>.

<http://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/1147773/>

<http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC>

<https://www.populationdata.net/pays/burundi/>

<https://unhabitat.org/burundi-profil-urbain-de-ngozi-french>

<https://www.oneworldmap.com>