

Universidad de Jaén

Centro de Estudios de Postgrado



Trabajo Fin de Máster

**MEJORA DE LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS
CON TÉCNICAS AGROAMBIENTALMENTE
SOSTENIBLES, ZONA DE NGOZI (BURUNDI)**

**IMPROVEMENT OF SOIL FERTILITY WITH
AGROENVIRONMENTALLY SUSTAINABLE TECHNIQUES, NGOZI
AREA (BURUNDI)**

ALUMNO/A: MARÍA JESÚS MONTORO MUÑOZ

TUTOR/A: Dr. Víctor Aranda Sanjuán

DPTO: Geología

Diciembre, 2017

RESUMEN

Burundi es uno de los países más pobres del mundo, el 90% de los aproximadamente 10 millones de personas dependen de la agricultura ecológica de subsistencia. Como consecuencia de ello, las prácticas de barbecho ya no son posibles. Un continuo cultivo de la tierra conduce a la drástica disminución de la fertilidad, a la acidificación de los suelos y a enormes pérdidas de suelo por erosión. La limitación más importante para la producción del suelo en Burundi es la acidez del suelo combinado con la toxicidad de Al. El nivel de pobreza de la población es tal, que el acceso a los fertilizantes y el uso de prácticas sostenibles es muy escasa. El principal reto para la productividad del suelo en Burundi es más socioeconómico que técnico, los agricultores deben ser ayudados con herramientas simples que deben ser vinculadas con conocimientos autóctonos de la fertilidad del suelo. En este sentido, con el presente TFM se intenta comprobar qué técnica ecológica es la más apropiada dadas las circunstancias de este país, con el fin de mejorar las posibilidades nutricionales de la población.

ABSTRACT

Burundi is one of the poorest countries in the world, 90% of the approximately 10 million people depend on subsistence farming. As a result, fallow practices are no longer possible. Continuous cultivation of land leads to the drastic decline in fertility, acidification of soils and huge losses of soil erosion. Soil acidity combined with Al toxicity is the most important for soil productivity throughout Burundi limitation. The poverty level of the population is such that access to fertilizers and the adoption of sustainable practices is very low. The main challenge for soil productivity in Burundi is more socio-economic than technical, and farmers must be helped with simple tools that should be linked with the indigenous knowledge of soil fertility. In this sense the present TFM attempted check which ecolocogical techniques are the most appropriate, in order to improve the population's nutrition possibilities.

PALABRAS CLAVE: Burundi, acidez, fertilidad del suelo, agricultura sostenible, bokashi, compost, biochar, maíz.

KEY WORDS: Burundi, acidity, soil fertility, sustainable agriculture, bokashi, compost, biochar, corn.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
2.	OBJETIVOS.....	10
3.	ZONA DE ESTUDIO.....	10
4.	CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS DE NGOZI.....	12
4.1.	ACIDEZ DEL SUELO	15
5.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
5.1.	DISEÑO EXPERIMENTAL	22
5.2.	ENMIENDAS UTILIZADAS.....	26
5.2.1.	Compost.....	26
5.2.2.	Biochar.....	29
5.2.3.	Bokashi.....	30
5.3.	FUENTES DE VARIACIÓN.....	34
5.3.1.	Indicadores preliminares del crecimiento del maíz.....	34
5.3.2.	Producción de biomasa.....	34
6.	RESULTADOS.....	35
6.1.	INDICADORES PRELIMINARES DEL CRECIMIENTO DEL MAÍZ.....	35
6.1.1.	Número de hojas de plantas de maíz.....	35
6.1.2.	Altura de las plantas de maíz.....	37
6.1.3.	Número de mazorcas en plantas de maíz.....	38
6.1.4.	Supervivencia en las plantas de maíz.....	39
6.1.5.	Deficiencias visuales en las plantas de maíz.....	40
6.2.	PRODUCCIÓN DE BIOMASA.....	43
7.	DISCUSIÓN.....	46
8.	CONCLUSIONES.....	49
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49
10.	REFERENCIAS WEBS.....	50

AGRADECIMIENTOS:

Quiero agradecer la enorme colaboración y buena acogida, además de por facilitarnos todos los medios y personal disponibles, a:

Dr. Apollinair BANGAYIMBAGA, Rector de la Universidad de Ngozi, Burundi.

Pr. Dr. Bonaventure MINANI, Faculté d'Agronomie & Agribusiness, Université de Ngozi, Burundi).

Y al Proyecto: MEJORA DE LA FERTILIDAD Y LA CALIDAD DE LOS SUELOS A PARTIR DE RECURSOS NATURALES LOCALES (ZONA DE NGOZI, BURUNDI), financiado por la Universidad de Jaén (Transferencia de Conocimiento y Tecnología -TCyT- en colaboración con ONGDs andaluzas-2016).

1. INTRODUCCIÓN.

Generalmente si pensamos en una selva tropical, nuestro pensamiento nos lleve a imaginarnos una selva exuberante, que se alza sobre suelos rojizos, debido a los altos niveles de óxidos de hierro que contiene el suelo. Pero la realidad en Burundi no es tal, la mayoría de los suelos tropicales en centro África están degradados, son muy ácidos y la mayoría están escasos de nutrientes esenciales, como pueden ser el P, K, Ca y Mg, que han sido lixiviados con el paso del tiempo. En la figura 1 se puede ver el cambio de la cobertura de vegetación terrestre en África entre los años 2000 y 2005. Burundi se encuentra entre las zonas más afectadas y cambiadas en las cuales se han observado un incremento muy pronunciado de la erosión y una disminución de la fertilidad.

Deforestation and land cover change

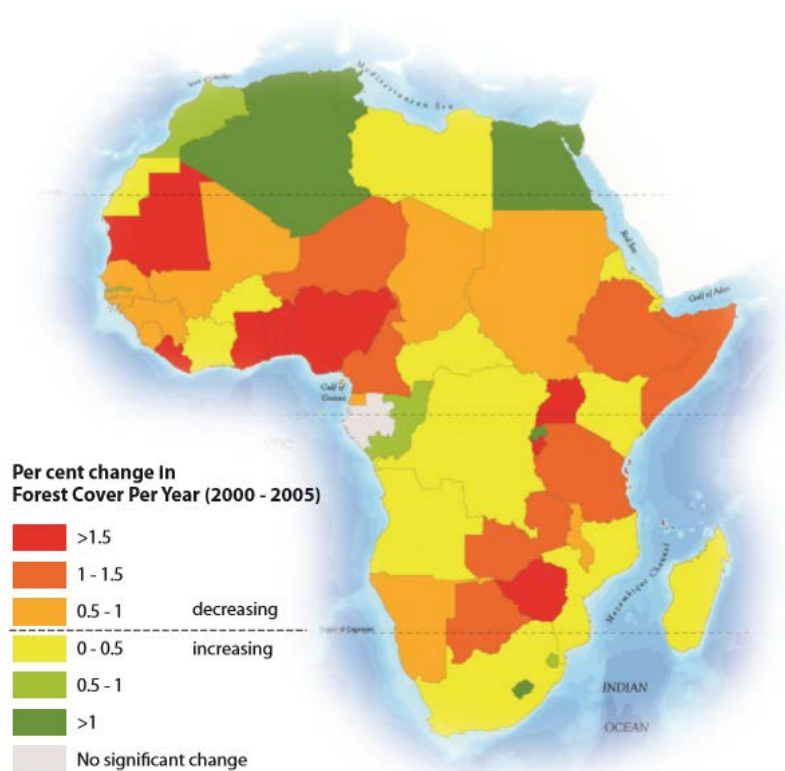


Figura 1. Cambio en la cobertura de vegetación terrestre en África (Jones *et al.*, 2013).

La disminución de esta fertilidad, implica que se reduzca la cobertura vegetal y por consiguiente que aumente la erosión, ya que la cubierta vegetal protege al suelo de la erosión y de la velocidad del agua, y sus raíces mantienen el suelo unido y evitan que este sea arrastrado.

Si la agricultura se practica en suelos pobres o moderadamente fértiles, alterando el ciclo de los nutrientes, sin la utilización de estiércol u otro tipo de fertilizante tanto natural como químico y realizando un cuidadoso manejo, el resultado es una pérdida de nutrientes y/o materia orgánica, y por lo tanto una pérdida de la productividad. En la figura 2, se puede observar como Burundi se encuentra entre los suelos más ácidos de África, cuya principal amenaza en la pérdida de nutrientes.

Además de estos problemas ambientales, la explosión demográfica que se ha producido en Burundi, implica una mayor presión sobre los suelos obligando a los agricultores a cultivar cosecha tras cosecha en el mismo suelo (Jones *et al.*, 2013).

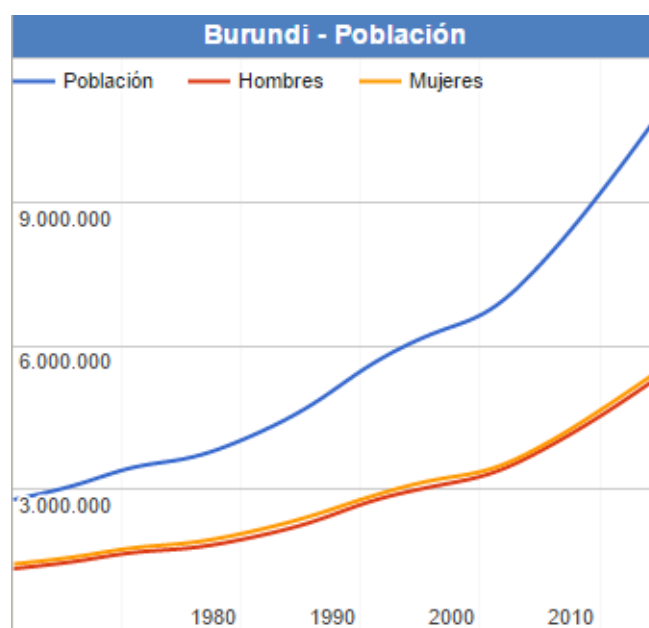


Gráfico 1. Población de Burundi. [1]

Burundi es uno de los países más pobres del mundo, el 58% de la población sufre desnutrición crónica, el 67% vive en la pobreza absoluta y el 90% de los aproximadamente 10 millones de personas que viven allí, depende de la agricultura de subsistencia, en cerca de 3 millones de hectáreas de tierra cultivable. El tamaño promedio de una granja familiar es inferior a 0,5 hectáreas y tiene que mantener a una familia típica (7 personas) [2]. Los burundeses han aumentado su población 350.901 habitantes más en 2014 respecto al 2013 [1]. En 2014 hay una población de 10.82 millones y en 2016 es de 11.50 millones de habitantes [3].

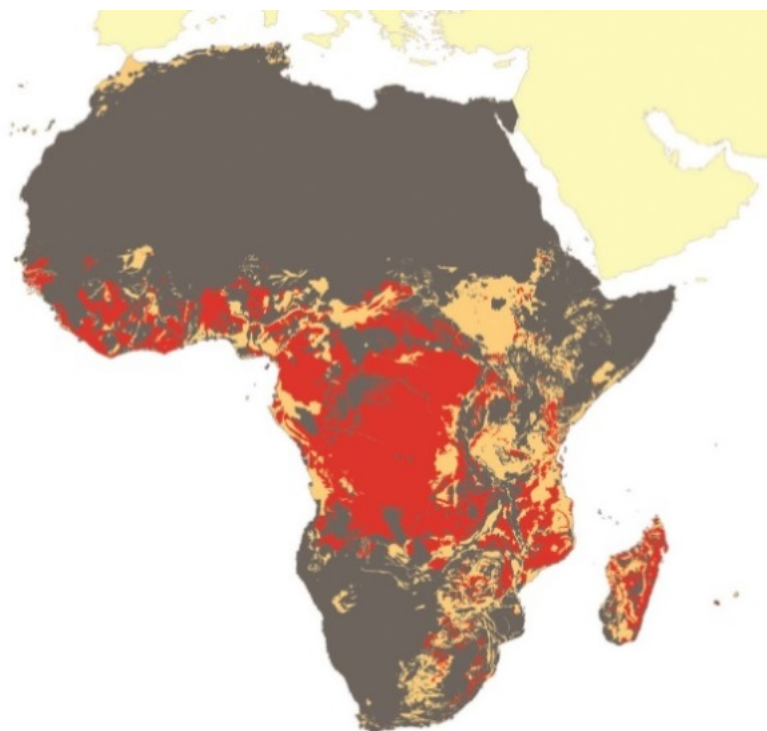


Figura 2. Suelos ácidos en África (Jones *et al.*, 2013).

Los principales cultivos de la zona son el maíz, frijoles, arroz, patatas, plátanos y yuca; y la ganadería está formada por caprino, ovino, porcino, bovino, aves de corral y conejos (Van Straaten, 2002). Estos datos son claves para saber de qué técnica ecológica podemos partir para llevar a cabo nuestra investigación.

Como consecuencia de todo esto, las prácticas de barbecho ya no son posibles y el cultivo continuo hace que se produzcan grandes pérdidas por erosión. Tanto es así que se han notificado en las laderas y colinas de la región de Mimirwa (zona este de Burundi) unas pérdidas de hasta 100-200 toneladas métricas por hectárea. El paisaje en esta zona está actualmente tan degradado que la comunidad local dice que ‘las piedras crecen’.

En las zonas con gran altitud, cerca de 1 millón de hectáreas son ácidas ($\text{pH} < 5$) con un alto riesgo de toxicidad de Al y deficiencias en elementos principales (P, Ca, Mg y K) y micronutrientes (Cu y Zn, principalmente). Algunas zonas de tierra baja, dedicadas al cultivo de arroz, manifiestan indicaciones de salinidad (Kaboneka, 2015). Se observa aluminio en saturación de hasta un 60% y un pH tan bajo como 4.5. Como en otros lugares, existen soluciones técnicas, pero el nivel de pobreza de la población es tal que el acceso a los fertilizantes y la adopción de prácticas sostenibles es muy débil.

2. OBJETIVOS.

Los objetivos del presente TFM tratan de evaluar la viabilidad a corto y medio plazo, de algunas medidas correctoras para subsanar las deficiencias en la calidad de los suelos de la zona de estudio, y así poder mejorar la fertilidad y la productividad del terreno. Por tanto, se pretende llevar a cabo un trabajo de investigación y experimentación con el objetivo de probar algunas técnicas de agricultura sostenible previamente seleccionadas para conseguir en un futuro un mejor manejo y protección del suelo, en el contexto de una agricultura más sostenible y productiva en una zona del mundo de especiales dificultades económicas y pobreza.

3. ZONA DE ESTUDIO.

Burundi es un pequeño país de interior, cuya capital es Buyumbura. Está compuesto de 17 provincias, entre las que se encuentra Ngozi cubriendo un área de 1.474 km². Ngozi es el lugar donde vamos a centrar nuestro estudio. El aumento demográfico les ha llevado a la reforestación de sus bosques y con ello a destruir el hábitat que los rodea y del que sacan todos los beneficios para abastecerse. Este gran problema ambiental, les ha llevado a otros problemas de gran envergadura, como por ejemplo la erosión, ya que su regeneración es extremadamente lenta (para renovar 2.5 cm de suelo en las zonas agrícolas, se necesitaría un promedio de 500 años [4]).



Imagen 1. Plantación de té (fuente propia).



Imagen 2. Paisaje agrario muy colinado, con fuertes y erosivas pendientes (fuente propia).

Ngozi se encuentra en la sabana arbolada de Miombo de Zambeze central. Tiene un clima árido, muy caluroso y seco, con temperaturas de hasta 30°C, produciendo severas sequías e incendios, aunque las temperaturas medias están en los 15-20°C. Tras los incendios, en la temporada de lluvia, el agua arrastra la capa vegetal húmida y queda descubierta la roca desnuda, por lo que nos encontramos con un suelo estéril. Las precipitaciones anuales son de 1000-1500 mm (Jones *et al.*, 2013).

Los árboles que más frecuentan estos hábitats son acacias y baobabs. En cuanto a hierbas, las predominantes son las gramíneas silvestres, que forman excelentes pastos (Gardi *et al.*, 2014).



Imagen 3. Pérdida de suelo a causa de la escorrentía (fuente propia).

4. CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS DE NGOZI.

La tipología de suelos de la zona, según la FAO (2006) son los siguientes:

- Leptosoles (Leptosol dístrico).

Se encuentran normalmente en zonas de montaña, comprendiendo suelos poco profundos y pedregosos sobre una roca dura y con poca tierra fina o depósitos altamente calcáreos (FAO, 2006). Estos suelos tienen una severa limitación de enraizamiento. Se encuentran en toda África, especialmente en zonas montañosas y desérticas, donde la roca dura se expone o se acerca a la superficie y se produce una desintegración física de la roca debido a los contrastes de temperatura.



Imagen 4. Leptosoles. Soil atlas of Africa (Jones *et al.*, 2013).

- Ferralsoles (Ferralsol ródico).

Son suelos viejos profundamente erosionados. Están asociados a áreas de alta precipitación y superficies geomorfológicas muy antiguas, como por ejemplo el terciario. Son suelos que han perdido casi todos sus minerales resistentes a la intemperie con el paso del tiempo, y son muy pobres en calcio y el magnesio. Por ello se ven influenciados por el hierro y/o aluminio, aunque presentan mayor contenido en aluminio, por lo que tienen una baja capacidad de retención de nutrientes. Presentan colores rojizos o amarillos, y la unión de las partículas de óxidos de hierro produce una sensación arenosa, pseudoarenosa o limosa (FAO, 2006).



Imagen 5. Ferralsoles. Soil atlas of Africa (Jones *et al.*, 2013).

- Nitisoles (Nitosol).

En estos suelos el hierro y/o el aluminio juegan un papel químico importante en su formación. Estos suelos están bien drenados, son profundos y presentan un color rojizo, característico de los suelos tropicales. Su estructura está bien desarrollada, con apariencia de nuez con superficies brillantes. La superficie brillante es una mezcla de revestimientos del hierro y de la arcilla.

Proviene principalmente de rocas básicas ricas en hierro, (como el basalto). Presenta fuerte unión entre las partículas del suelo y la formación de los agregados, debido al alto contenido de hierro activo (óxidos de hierro e hidróxidos amorfos). Están dominados por la arcilla de tipo caolinita (FAO, 2006). Se desarrollan principalmente en productos rocas ígneas básicas, altamente erosionadas. Son buenos productores a pesar de su alta capacidad de fijar fósforo.



Imagen 6. Nitisoles. Soil atlas of Africa (Jones *et al.*, 2013).

4.1. ACIDEZ DEL SUELO.

Las raíces son el punto de entrada de los nutrientes en las plantas, y esta absorción se ve afectada por las características del suelo, como el pH.

Hay muchas fuentes que acidifican el suelo: sales solubles; materia orgánica; la precipitación; las transformaciones de nutrientes y la absorción; la lixiviación; los óxidos de hierro (Fe) y óxidos de aluminio (Al); minerales de la arcilla; hidrólisis de Al y Fe; los abonos; y los otros efectos a largo plazo (Havlin *et al.*, 2005).

Los suelos con alto contenido en arcilla, materia orgánica, u óxidos de Fe o Al tienen una mayor capacidad para amortiguar el pH del suelo. El hidróxido de aluminio ($\text{Al}(\text{OH})_3$) reacciona con H^+ en una reacción reversible, que aporta una proporción cada vez mayor de Al en la solución del suelo como Al^{3+} , que es tóxico para las plantas. Esto reduce el crecimiento de raíces y el desarrollo de la planta. Al^{3+} se vuelve más soluble y progresivamente ocupa la CEC donde el pH es menor

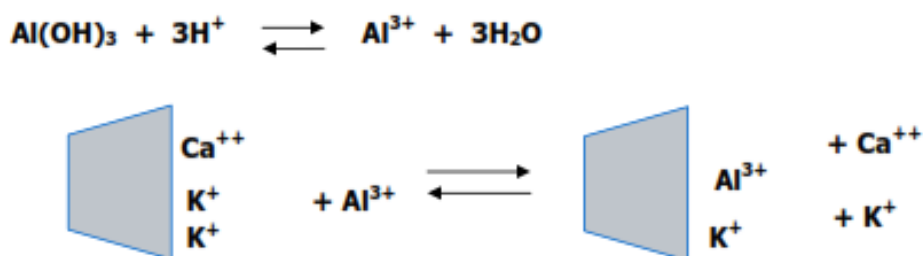


Figura 3. Reacción reversible de Al (OH)₃.

Por consecuencia la disponibilidad de nutrientes que encontramos en el suelo , se ve afectada por el pH del suelo (figura 4). En el suelo podemos encontrar tanto deficiencias de nutrientes como toxicidad debido a tres elementos (Al, Mn y H)

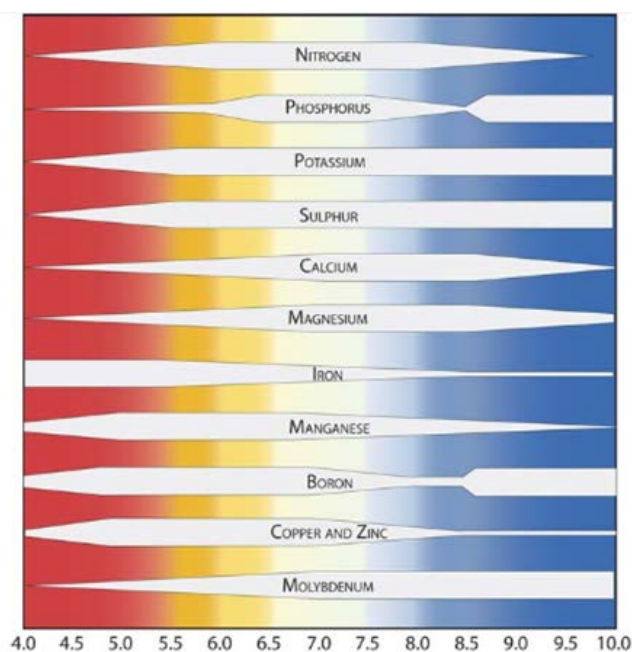


Figura 4. Disponibilidad de nutrientes para las plantas (Von Uexkull, 1986).

El pobre crecimiento de los cultivos en suelos ácidos es causado por la toxicidad del aluminio y/o manganeso, y/o la deficiencia de fósforo, calcio y magnesio. Para la mayor parte de las especies vegetales el efecto del exceso de aluminio está en el crecimiento de las raíces (Von Uexkull, 1982).

El manganeso es un nutriente esencial para las plantas pero en exceso puede causar problemas de toxicidad. La solubilidad y disponibilidad del Mn se incrementa según

baja el pH, especialmente cuando está por debajo de 5.6; esta disponibilidad también aumenta con la humedad del suelo, y disminuye con la aireación.

5. MATERIALES Y MÉTODOS.

En 2015 se realizó un análisis de las propiedades del suelo en Ngozi. Se realizó sobre una parcela determinada, como se puede observar en la imagen 7. Estos datos nos van a dar la información necesaria para poder actuar de la manera más acertada en la zona, según las necesidades del suelo.



Imagen 7. Lugar de la toma de muestras.



Imagen 8. Parcelas donde fueron tomadas las muestras. LAND1 y LAND 2.

Se tomaron una serie de muestras en dos parcelas contiguas (imagen 8), con una profundidad entre 0 y 30 cm (imagen 9).



Imagen 9. Reportaje de la toma de muestras 'in situ'.

Tras la recogida se enviaron al laboratorio para realizarles una analítica básica completa. Los resultados fueron los siguientes:

1. Según el triángulo de texturas del USDA (Schoeneberger *et al.*, 1998), muestra un suelo con textura franco-arcilloso-arenosa, donde el porcentaje de arena es el mayor (58%), por lo que podemos constatar que este suelo tiene una textura equilibrada, aunque nos encontramos ante un suelo con una densidad aparente relativamente alta, una capacidad de almacenaje de agua útil baja, una permeabilidad moderada y una alta capacidad de campo.
2. Dado el alto valor en arenas, se puede decir que tiene una buena aireación, una capacidad de retención de agua baja, es decir, retiene poca humedad; y una capacidad de retención de nutrientes baja también, esto es porque los nutrientes son lixiviados a suelos más profundos. Los resultados de permeabilidad moderada, agua útil baja y punto de marchitamiento alto, confirman estos enunciados.

3. Un pH fuertemente ácido, menor a 4.6 por lo que se encuentra en el límite para que los microorganismos del suelo puedan vivir en él y realizar sus funciones básicas. Este pH también disminuye la disponibilidad de nutrientes básicos esenciales (Ca, Mg y K), y dificulta el desarrollo radicular de las plantas. En general, para un buen suelo agrícola, el pH debe oscilar entre 6.6 y 7.3.
4. Con una alta cantidad de materia orgánica (>5%) pero no se encuentra disponible para los microorganismos encargados de mineralizarla, ya que puede ser que se encuentre en una forma muy refractaria (poco mineralizable) y la relación C/N ligeramente alta (por encima de 10). Estos valores pueden deberse al pH muy fuertemente ácido y con ello a la poca actividad biológica y/o a la ausencia de nitrógeno asimilable en el suelo.
5. Los niveles de caliza activa así como de carbonatos que mostraron dichos suelos es despreciable.
6. Su capacidad de intercambio catiónico (CIC) muy reducida, de aproximadamente unos 5 cmolc kg⁻¹. Esto quiere decir que el suelo posee una baja fertilidad, con respecto a este parámetro, puesto que su capacidad de almacenaje y de cesión de cationes, que sirven de nutrientes para las plantas, es muy baja. Lo adecuado sería tener una CIC superior a 15 cmolc kg⁻¹. Este puede ser el resultado de una baja actividad de las arcillas (relación CIC/% arcilla de aproximadamente 0.2-0.3), lo que demuestra una mineralogía de la arcilla de tipo caolinita. Además, la elevada cantidad de materia orgánica recalcitrante y un pH tan bajo hace que los coloides tanto arcillosos como húmicos tenga una escasísima capacidad de retener (al poseer carga superficial positiva) y aportar nutrientes esenciales a los cultivos, esto explica la baja fertilidad que se encuentra en estos suelos.
7. No se trata de suelos salinos.

Según estos resultados, podemos concluir que estamos ante un suelo que presenta varios problemas, no insalvables pero muy serios. Principalmente son: pH fuertemente ácido; CIC muy bajo, por lo tanto escasísima fertilidad y; defecto de Ca y Mg, como principales macronutrientes. Por lo tanto son necesarias ciertas intervenciones para mejorar la fertilidad del suelo, para ello usaremos bokashi, compost y biochar.

Para tratar y estudiar la mejor técnica de recuperación para estos suelos, se ha usado una parcela experimental de la universidad de Ngozi. Esta parcela era usada como huerto, estercolera, para amontonar restos de la fosa séptica, etc. Por lo que partimos de una parcela con alto contenido en materia orgánica. Se ha elegido esta parcela que no tiene las mismas características que el suelo de la problemática en cuestión, porque el único lugar controlable. Esto quiere decir que si hubiéramos tomado como parcela experimental una parcela de los Batwua, que es donde realmente está la problemática, seguramente no hubiéramos obtenido resultado alguno, ya que esta aldea es tan pobre

que en nada que hubieran empezado a salir las mazorcas de maíz, habrían desaparecido, debido a las graves carencias alimenticias de la población.



Imagen 10. Aldea de los Batwua (fuente propia).

5.1. PARCELA EXPERIMENTAL.

La parcela en cuestión mide 200 m² y se sitúa en el Institute Sante de Ngozi, dependiente de la Universidad de Ngozi. Antes de dividirla para emplear las técnicas recuperadoras, se preparó el terreno desbrozándolo y repartiendo los restos vegetales por toda la finca. Una vez homogeneizado el terreno se cogieron 5 muestras al azar por toda la finca. Estas cinco muestras se trajeron a España para su posterior análisis.



Imagen 11. Parcela usada para el proyecto (fuente propia).



Imagen 12. Parcela tras los tratamientos de preparación del terreno (fuente propia).



Imagen 13. Muestras recogidas inicialmente (fuente propia).

5.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se dividió la parcela en 12 subparcelas de de 4x3m cada una, con una separación de 0.5m entre cada una de ellas. Estas subparcelas se repartieron lo más heterogéneamente posible para que no coincidieran los diferentes tipos de fertilizantes que se añadieron. Se etiquetaron las subparcelas como: A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L y se repartieron de tal modo:

- A, H y K: bokashi.
- B, F y L: compost.
- C, E y J: biochar
- D, G e I: control.

Se tuvo un problema con un gusano que se alimenta de la planta de maíz, por lo que a todas las parcelas se les añadió pesticidas. Lo que nos llevó a tener que formar otra parcela (M) que estará compuesta por bokashi orgánico, es decir, sin usar ningún tipo de pesticidas.

No podemos olvidar el objetivo de este TFM, que es ayudar a la población a que produzca más, usando solos productos naturales que les ofrece el entorno en el que viven.

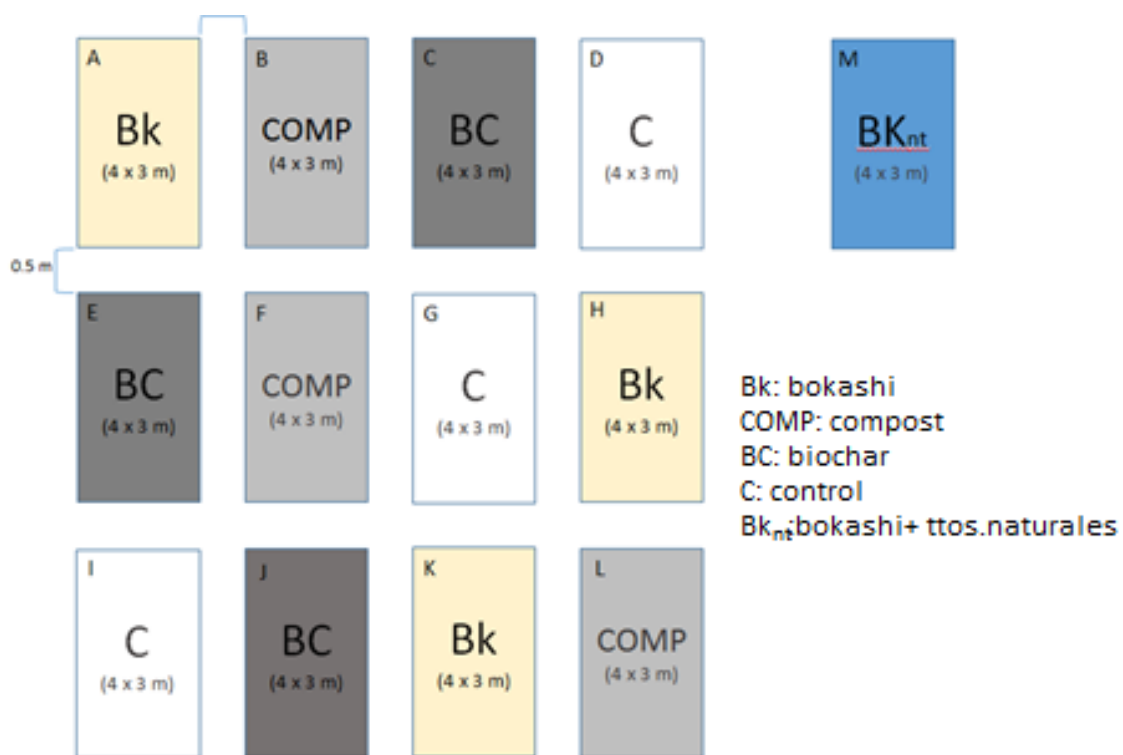


Figura 5. Diseño experimental de las parcelas (fuente propia).

Las semillas que se usaron para este experimento no fueron semillas locales, ya que estas semillas estaban plagadas de hongos e insectos y si queríamos que el experimento tuviera resultados, lo primero que debíamos asegurar era la germinación óptima de las semillas y su desarrollo, por lo que se compraron 50 kg de un tipo de semillas llamadas semillas de maíz americanas.

El diseño experimental para la distribución de las semillas fue el mostrado en la figura 6. Cada subparcela constaba de 40 semillas, éstas estaban colocadas en el nudo de las líneas de la figura 6, donde están colocados los símbolos rojos.

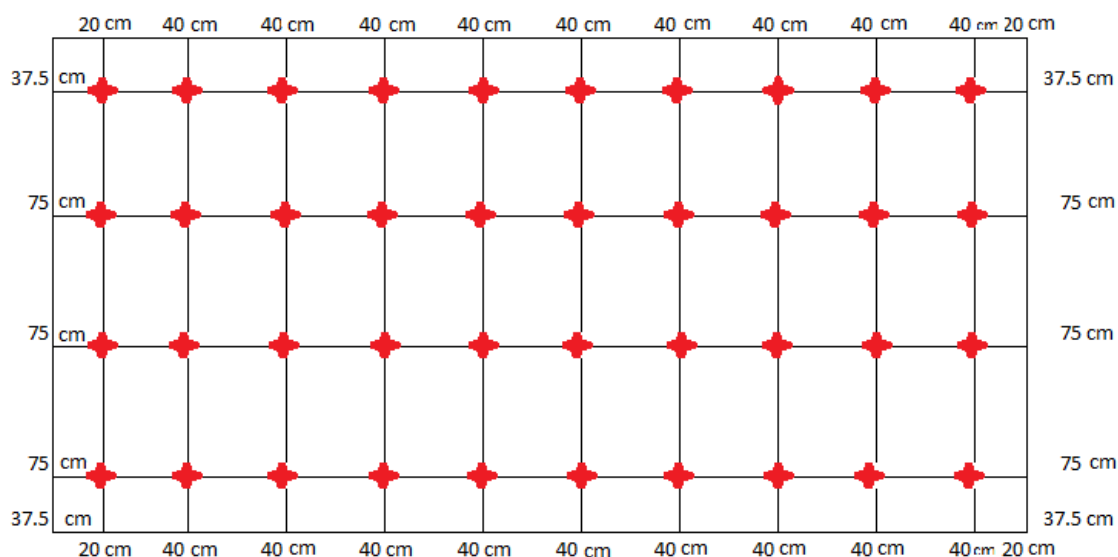


Figura 6. Diseño experimental de las semillas en una subparcela (fuente propia).

La idea era añadir a todos los fertilizantes la misma cantidad de nitrógeno, para poder ver la diferencia en los tipos de N, sin embargo no hubo posibilidad de medirlo antes del experimento, por lo que se asumió en función de la bibliografía el contenido en nitrógeno que se añadiría a cada fertilizante. Al ser el nitrógeno muy limitante en este cultivo como nutriente, a todas las parcelas se les pretendió añadirles el mismo contenido de nitrógeno.

Tabla 1 Contenido en N tras el experimento

Enmienda	% N (CNH analizador, sobre peso seco)	% N Antes de comenzar el experimento	Para una dosis de 150 kg de N ha ⁻¹ En 12 m ² habría que añadir el material fresco (kg)	Para una dosis de 150 kg de N ha ⁻¹ En 12 m ² realmente añadimos el material fresco (kg)
Bokashi	0.6	1.2	49.9	20
Compost	1.92	1.5	31.6	15
biochar	0.82	0.6	41.9	30

Voy a realizar los cálculos oportunos para saber qué cantidad de nitrógeno debemos añadir a cada parcela experimental, teniendo en cuenta la cantidad recomendada de N para el cultivo de maíz que es de 150 Kg N por hectárea.

Para el caso del bokashi se añadieron 20 Kg de peso fresco en cada unidad experimental, suponiendo un contenido en nitrógeno de 1.2 %. El porcentaje de humedad para estos 20 Kg es de 39.15 % por lo que 7.83 Kg son de agua, y el resto (12.17 Kg) de peso seco. Por lo que con el bokashi se añadió 12.17 Kg de peso seco $\times$ 0.012 (porcentaje de N en el bokashi) = 0.14604 Kg de N en los 12m², lo que equivaldrían a 121.7 Kg de N en una hectárea.

Para el caso del biochar se añadieron 30 Kg de peso fresco en cada unidad experimental, suponiendo un contenido en nitrógeno de 0.6 %. El porcentaje de humedad para estos 30 Kg es de 47.55 % por lo que 14.265 Kg son de agua, y el resto (15.735 Kg) de peso seco. Por lo que con el biochar se añadió 15.735 Kg de peso seco $\times$ 0.06 (porcentaje de N en el bokashi) = 0.9441 Kg de N en los 12m², lo que equivaldrían a 786.75 Kg de N en una hectárea.

Para el caso del compost se añadieron 15 Kg de peso fresco en cada unidad experimental, suponiendo un contenido en nitrógeno de 1.5 %. El porcentaje de humedad para estos 15 Kg es de 70.3 % por lo que 10.545 Kg son de agua, y el resto (4.455 Kg) de peso seco. Por lo que con el compost se añadió 4.455 Kg de peso seco $\times$ 0.015 (porcentaje de N en el bokashi) = 0.066825 Kg de N en los 12m², lo que equivaldrían a 55.6875 Kg de N en una hectárea.

Tras estos cálculos, se llevó a cabo el experimento y cuando el maíz obtuvo su fruto se volvieron a medir los índices de nitrógeno. Pero se puede observar claramente como el contenido en nitrógeno ha salido muy distinto en unas unidades experimentales que en otras, ya que han recibido diferentes dosis de nitrógeno, y no son las correctas. Las idóneas para que hubieran tenido todas las parcelas experimentales la misma cantidad de N se muestra en la tabla 1.

Por lo que se añadieron (basados en el nitrógeno que se creía que poseían las enmiendas) 15kg de compost, 20 kg de bokashi y 30 de biochar.

El contenido de carbono y nitrógeno se muestra en la tabla 2

Tabla 2. Composición elemental de las enmiendas utilizadas

Fertilizante	% nitrógeno	% carbono	% hidrogeno	% azufre	C/N
Bokashi	0.6	11.6	1.8	0.06	20
Compost	1.9	25.1	3.6	0.2	13
Biochar	0.8	66.4	2.4	0.0	81

5.3. ANÁLISIS DE LABORATORIO Y ESTADÍSTICO.

Para el análisis de la materia orgánica de las muestra de suelo, se usó el método de oxidación en húmedo de Sims & Haby, con las modificaciones establecidas por Mingorance *et al.* (2007). El carbono se determina por una digestión ácida con dicromato potásico 1N y ácido sulfúrico concentrado a 155°C por 30 minutos. Por último se utilizó un espectrofotómetro Boeco S-200 para cuantificar el Cr^{3+} producido por la reducción del Cr^{6+} , a una $\lambda = 600 \text{ nm}$.

El análisis elemental de las muestras de enmiendas orgánicas se realizó con el Analizador Elemental modelo Flash EA1112 CHNS-O de Thermo Finnigan que permite el análisis químico cuantitativo de Nitrógeno, Carbono, Hidrógeno, Azufre y Oxígeno en muestras sólidas o líquidas, en un rango de concentraciones que abarca desde el 0.01% (100 ppm) al 100% del contenido total del elemento presente en la muestra.

Se considera, para enmiendas orgánicas, que la relación C/N más óptima debe estar por debajo de 20.

Los datos se analizaron con el programa SPSS 13.0. El ANOVA de una vía se utilizó para el análisis estadístico de los efectos de los tratamientos y una prueba de rango múltiple, basada en el método de la diferencia altamente significativa (HDS) de Turquía, y se aplicó para establecer las diferencias entre los tratamientos.

5.4. ENMIENDAS UTILIZADAS.

5.4.1. Compost

El compostaje es un proceso de descomposición biológica de la materia orgánica, donde hongos y otros microorganismos descomponen la materia orgánica en sustancias orgánicas estables, que puedan ser utilizadas por las plantas [5]. Se fabrica mediante la fermentación aerobia controlada de montones de mezcla de materias orgánicas. Se le

puede añadir pequeñas proporciones de tierra o rocas naturales trituradas. Los materiales, tienen que estar bien homogeneizados y mezclados y a ser posible triturados. Ya que la formación del compost es inversamente proporcional al tamaño que los materiales presenten [6].

Lo que en España se conoce como compost, es distinto de lo que en Burundi entienden cómo tal. En Burundi el compost, que solo está compuesto por estiércol de vaca con restos de la propia cama, paja en su mayoría, se deja en un montón abandonado para que se descomponga.

Partiendo de esta base, hablaremos de compost para referirnos al estiércol de vaca semicompostado. El compost por lo tanto estaba compuesto en su mayoría de estiércol de vaca. Este material es el que se repartió por la subparcela correspondiente.



Imagen 14. Pila de compost (fuente propia).



Imagen 15. Compost de Burundi (fuente propia).



Imagen 16. Aplicación del compost (fuente propia).

5.4.2. Biochar.

El Biochar es un material carbonizado obtenido a partir de biomasa con alto contenido de carbono, que ha sido pirolizado en un entorno de oxígeno nulo o muy bajo mediante procesos sostenibles (Lehmann *et al.*, 2003a). Puede permanecer en el suelo de 10 a 1000 veces más que otro tipo de materia orgánica. Este carbonizado se aplica al suelo tanto para mejorar las propiedades del suelo, como para almacenar carbono y/o retener agua. (Lehmann *et al.*, 2003b).

Para llevar a cabo este método se necesita una capa de suelo profundo. Pequeñas fosas u hoyos de un metro son suficientes para fabricar pequeñas cantidades de carbón vegetal. Si se hacen fosas muy grandes el ciclo puede abarcar hasta tres meses para completarse. Se inicia un fuego en la fosa y después se agrega la madera pequeña y seca para inicial un buen fuego, hasta llenar completamente la fosa. Se tapa con una capa de hojas, de aproximadamente 20 cm de espesor y se coloca encima otra capa de tierra (20 cm) cubriéndolo totalmente y a los dos días se abrió.



Imagen 17 . Venta de biochar en un mercado local (fuente propia).

Para el experimento se compró el biochar ya preparado. Se compraron 100 kg triturados y se añadieron a las subparcelas correspondientes como se muestra en la imagen 18.



Imagen 18. Adición de biochar (fuente propia).

5.4.3. Bokashi.

La palabra bokashi significa materia orgánica fermentada, y se basa en la participación activa de los microorganismos que transforman la materia orgánica aeróbicamente [7]. El bokashi estimula el crecimiento de la plantas, mejora las condiciones físico-químicas del suelo, aporta nutrientes como el potasio, calcio, nitrógeno, boro, magnesio y fosforo, mejora la tolerancia a las enfermedades y plagas, y es una fuente energética para el desarrollo de los microorganismos.

En este caso se han usado tierra del propio terreno previamente tamizada, estiércol de vaca, carbón que obtuvimos del biochar, semolina, cascarilla de arroz, melaza y pescado seco.



Imagen 19 . Realización del bokashi (fuente propia).

Lo primero que se hizo para la preparación del bokashi fue, hacer capas con los diferentes materiales alternándolos para que queden lo más homogéneamente posible. Para este paso se usaron tierra, estiércol de vaca, carbón, cascarilla de arroz, ceniza y pescado seco.

El siguiente paso fue mezclar en un cubo aparte la melaza con agua y añadirle semolina (microorganismos).



Imagen 20 .Agua, semolina y melaza (fuente propia).

Una vez realizada la mezcla acuosa en un cubo, y una pila de materiales mezclados, hubo que unir las dos. Esta parte se realiza alternando materia sólida, con materia líquida y se hace una pila aparte. Cuando agotemos la materia líquida se añadió agua hasta conseguir una textura tal que así (imagen 21).



Imagen 21. Bokashi, comprobación del estado de humedad óptimo (fuente propia).

Para aplicar el bokashi a la subparcela correspondiente se usaron dos métodos. Se dividió la subparcela en dos y en la mitad se introdujo el bokashi en un agujero al lado de la semilla de maíz y la otra mitad se distribuyó por encima del terreno.



Imagen 22. División de la subparcela (fuente propia).



Imagen 23. Agujero de bokashi junto a agujero de semilla (fuente propia).

Cuando se añadieron a las parcelas todos los fertilizantes se cubrió con una capa de restos vegetales para protegerlos del sol y de las aves que había en la zona, para evitar que estas se las pudieran comer.



Imagen 24. Capa de restos vegetales en todas las parcelas, para evitar una excesiva evaporación inicial y el ataque de los cuervos (fuente propia).

5.5. FUENTES DE VARIACIÓN.



Imagen 25. Plantas de maíz (fuente propia)

En este experimento solo se dispone de una fuente de variación que es el tipo de fertilizante usado, y dentro de este tenemos 5 niveles de variación, como ya se ha comentado anteriormente: control (sin fertilizante), bokashi, biochar, compost y bokashi orgánico. Las variables dependientes se van a dividir en dos: indicadores tempranos de producción y producción.

5.5.1. Indicadores preliminares del crecimiento del maíz.

Estos resultados se midieron un mes antes de la recogida de la cosecha. Para ello se tomaron cinco muestras al azar de cada subparcela experimental. Los trabajos preliminares tratan de contar el número de hojas, medir la altura y contar el número de mazorcas por planta

5.5.2. Producción de biomasa.

Para medir la producción. Se cogió toda la biomasa de cada subparcela y se dividió en mazorca, grano y masa aérea. Primeramente se pesó la biomasa aérea total en 1m^2 . Después se separaron las mazorcas y la masa aérea y se volvieron a pesar estos dos valores, y finalmente se pesaron los granos de maíz.

Tras el secado a toda la biomasa se volvió a pesar las mazorcas, la masa aérea, y los granos de maíz al 6% y al 12% de humedad. A todos estos valores se les ha tenido que calcular la masa seca, para poder ver mejor las diferencias entre enmiendas. Los datos están expresados en toneladas por hectárea.

6. RESULTADOS.

6.1. INDICADORES PRELIMINARES DEL CRECIMIENTO DEL MAÍZ.

6.1.1. Número de hojas de plantas de maíz.

La tabla 3 y la figura 7 muestran el número de hojas por planta y el número de hojas de cinco plantas seleccionadas en cada una de las subparcelas experimentales respectivamente.

Cuando se considera el conjunto de hojas en las cinco plantas se pueden observar valores entre 63.3 (número de hojas en promedio para el compost) y 70.0 para el caso del Bokashi biológico.

No hubo diferencias significativas en el número de hojas por plantas entre las distintas unidades experimentales. No obstante, hubo una tendencia de mayor número de hojas para el tratamiento de bokashi orgánico.

Tabla 3. Número de hojas en cinco plantas seleccionadas en las parcelas experimentales controles y en aquellas que recibieron distintos fertilizantes (Bokashi, Biochar y Compost). Se incluye también el de las unidades experimentales que recibieron Bokashi pero sin pesticida (Bokashi biological treatment).

	A BOKASHI		B COMPO	C BIOCHA	D CONTR	E BIOCHA	F COMPO	G CONTR	H BOKASHI		I CONTR	J BIOCHA	K BOKASHI		L COMPO	M BOKASHI (biologic treat)	
	In holes	Mix							In holes	Mix			In holes	Mix		In holes	Mix
Plant 1	17	14	13	13	16	12	13	14	14	11	14	13	11	12	12	11	15
Plant 2	13	14	13	15	13	14	13	14	14	15	13	15	11	13	12	11	14
Plant 3	13	13	13	11	11	13	13	13	13	13	13	13	14	12	14	16	16
Plant 4	11	13	12	11	14	13	15	12	11	13	12	14	11	14	11	15	14
Plant 5	13	13	12	12	14	13	12	14	13	13	13	14	14	13	12	13	11

Tabla 4. Media y desviación típica para el número de hojas.

Tratamiento	Media y desviación típica
Bokashi in holes	64.3 ^a ±3.1
Bokashi mix	65.3 ^a ±1.5
Compost	63.3 ^a ±2.5
Biochar	65.3 ^a ±3.5
Control	66.7 ^a ±1.5
Bokashi orgánico in holes	66.0 ^a ±2.8
Bokashi orgánico mix	70.0 ^a ±2.8

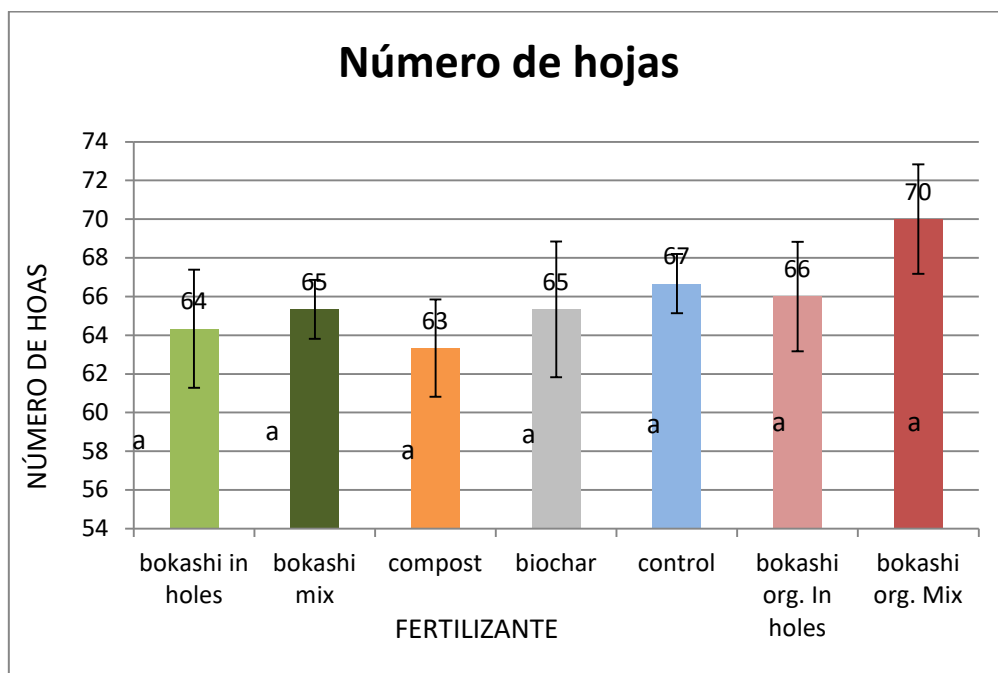


Figura 7. Número de hojas en cinco plantas seleccionadas en las parcelas experimentales controles y en aquellas que recibieron distintos fertilizantes (Bokashi, Biochar y compost). Se intuye también el de las unidades experimentales que recibieron Bokashi pero sin pesticida. Letras diferentes denotan diferencias significativas (ANOVA de una vía, $P < 0.05$).

También es resaltable el hecho de que el número de hojas (para el conjunto de las cinco plantas), sea mayor cuando el bokashi fue mezclado en el suelo a cuando el bokashi se

añadió en agujeros al lado de las semillas. Aunque las diferencias igualmente no fueron significativas (ANOVA de una vía).

6.1.2. Altura de las plantas de maíz.

La altura (cm) de las plantas de maíz han sido, en general muy elevadas, pero variables como se puede observar en la tabla 5. Un mes antes de proceder a la cosecha, la altura de las plantas osciló entre 154 cm en una parcela de biochar y 240 en una unidad experimental tratada con bokashi orgánico.

Tabla 5. Altura (cm) de cinco plantas seleccionadas en las parcelas experimentales controles y en aquellas que recibieron distintos fertilizantes (Bokashi, biochar y compost). Se incluye también el de las unidades experimentales que recibieron bokashi pero sin pesticida (Bokashi biological treatment). Letras diferentes denotan diferencias significativas (ANOVA de una vía, $P < 0.05$)

	A BOKASHI		B COMPO	C BIOCHA	D CONTR	E BIOCHA	F COMPO	G CONTR	H BOKASHI		I CONTR	J BIOCHA	K BOKASHI		L COMPO	M BOKASHI (biologic	
	In holes	Mix							In holes	Mix						In holes	Mix
Plant 1	184	213	207	199	214	217	221	247	193	192	230	200	174	188	230	219	240
Plant 2	215	173	226	213	194	218	201	213	219	203	217	227	178	212	170	208	194
Plant 3	201	205	252	175	201	184	234	189	226	184	198	214	211	215	195	233	240
Plant 4	180	161	218	154	222	210	232	200	183	232	193	175	208	209	188	224	177
Plant 5	213	176	211	224	184	212	209	201	222	195	233	217	198	214	209	220	181
suma de las cinco plantas	993	928	1114	965	1015	1041	1097	1050	1043	1006	1071	1033	969	1038	992	1104	1032
media	198.6	185.6	222.8	193	203	208.2	219.4	210	208.6	201.2	214.2	206.6	193.8	207.6	198.4	220.8	206.4
desviación típica	16.1338	22.27	17.8522	28.4693	15.2315	13.9356	14.3283	22.3607	19.2951	18.5122	18.1852	20.1321	17.0059	11.1937	22.5677	9.03881	31.309743

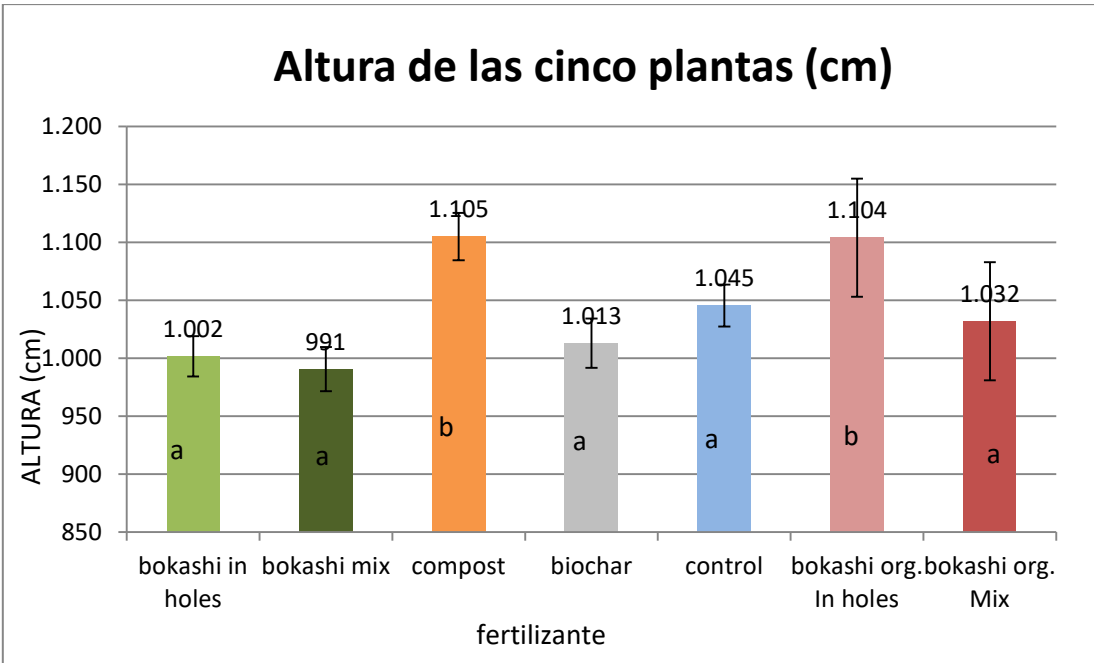


Figura 8. Altura acumulada (cm) en cinco plantas seleccionadas en las parcelas experimentales controles y en aquellas que recibieron distintos fertilizantes (Bokashi, biochar y compost). Se incluye también el de las unidades experimentales que recibieron bokashi pero sin pesticida (bokashi biological treatment). Letras denotan diferencias significativas (ANOVA de una vía, $P < 0.05$).

Para el bokashi, el biochar, el control y el bokashi orgánico mezclado con el suelo no ha habido una diferencia significativa (ANOVA de una vía). Sin embargo para el compost y el bokashi orgánico, esta vez añadido en agujeros al suelo la diferencia si fue significativa. Podemos afirmar que la altura en las plantas de maíz utilizando estas dos técnicas se ha visto favorecida. Este hecho se observa claramente cuando se utiliza como indicador de la altura, la altura acumulada en las cinco plantas analizadas en cada unidad experimental (figura 8). El tratamiento con menor altura acumulada correspondió al Bokashi mezclado con el suelo.

6.1.3. Número de mazorcas en plantas de maíz.

El número de mazorcas por planta para el conjunto de unidades experimentales se mantuvo bastante constante (entre 1 y 2) y no hubo diferencia significativa entre tratamientos (tabla 6). No obstante hubo una clara tendencia de mayor número de mazorcas en las plantas de maíz en los tratamientos control y bokashi orgánico. Este hecho se pone de manifiesto cuando se consideran el número de mazorcas en el conjunto de las cinco plantas muestreadas (figura 9)

Tabla 6. Número de mazorcas de las cinco plantas seleccionadas en las parcelas experimentales controles y en aquellas que recibieron distintos fertilizantes (Bokashi, biochar y compost). Se incluye también el de las unidades experimentales que recibieron bokashi pero sin pesticida (Bokashi biological treatment). Letras diferentes denotan diferencias significativas (ANOVA de una vía, $P < 0.05$)

	A BOKASHI		B COMPO	C BIOCHA	D CONTR	E BIOCHA	F COMPO	G CONTR	H BOKASHI		I CONTR	J BIOCHA	K BOKASHI		L COMPO	M BOKASHI (biologic	
	In holes	Mix							In holes	Mix						In holes	Mix
Plant 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
Plant 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
Plant 3	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
Plant 4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
Plant 5	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1
suma de mazorcas	5	5	5	5	5	5	6	5	6	6	8	5	5	5	5	5	6
en las cinco plantas																	
media	1	1	1	1	1	1	1.2	1	1.2	1.2	1.6	1	1	1	1	1	1.2
desviación típica	0	0	0	0	0	0	0.44721	0	0.44721	0.44721	0.54772	0	0	0	0	0	0.4472136

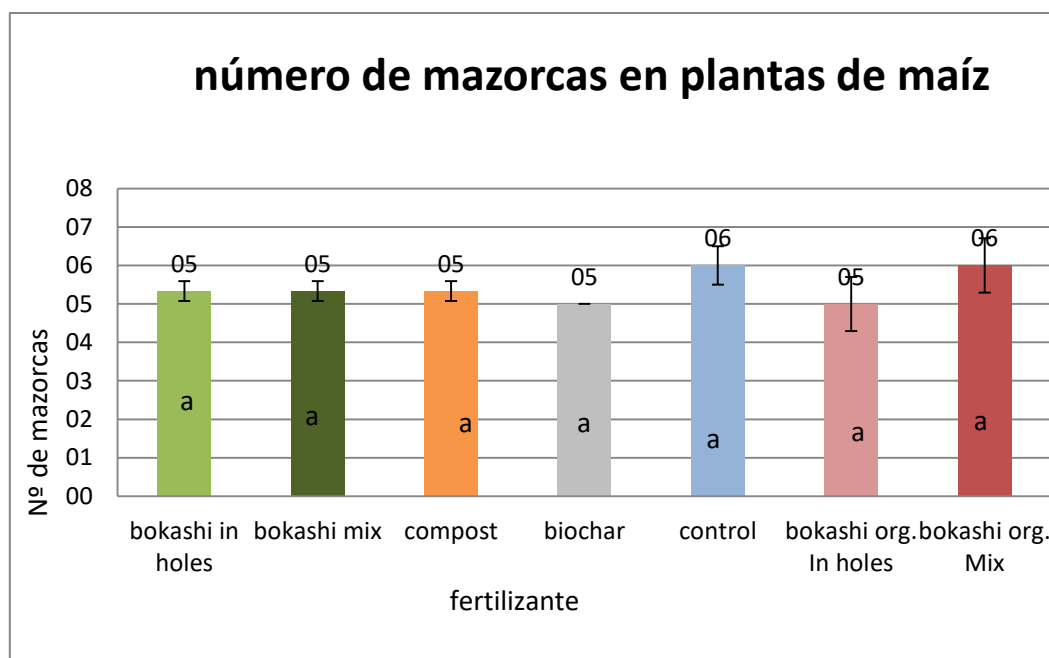


Figura 9. Número de mazorcas en el conjunto de cinco plantas en cada una de las unidades experimentales.

En la figura 9 se puede observar como el promedio de mazorcas en cinco plantas fue superior (aunque no de forma significativa) en los tratamientos de bokashi orgánico mezclado en el suelo y control. Los fertilizantes que menos cantidad de mazorcas obtuvieron fue el bokashi orgánico, esta vez en agujeros y el biochar.

6.1.4. Supervivencia en las plantas de maíz.

De las 40 semillas de maíz que se plantearon en cada unidad experimental, los mayores porcentajes de germinación se obtuvieron para las unidades experimentales a las que se le añadió bokashi con pesticidas (91.4% o 38 plantas en 12m²) y las menores para los tratamientos de control (84.2 % de supervivencia o 32 plantas en 12m²) y biochar (86.7% o 33.5 plantas en 12m²) (tabla 7 y figura 10).

Tabla 7. Supervivencia de las plantas (%).

Enmiendas	% de supervivencia	Número de plantas en 12m ²
Bokashi	91.4±3.8	38±3.8
Compost	87.8±3.2	36±3.2
Biochar	86.7±5	33.5±5
Control	84.2±6.5	32±6.5
Bokashi orgánico	87.5±0	35±0

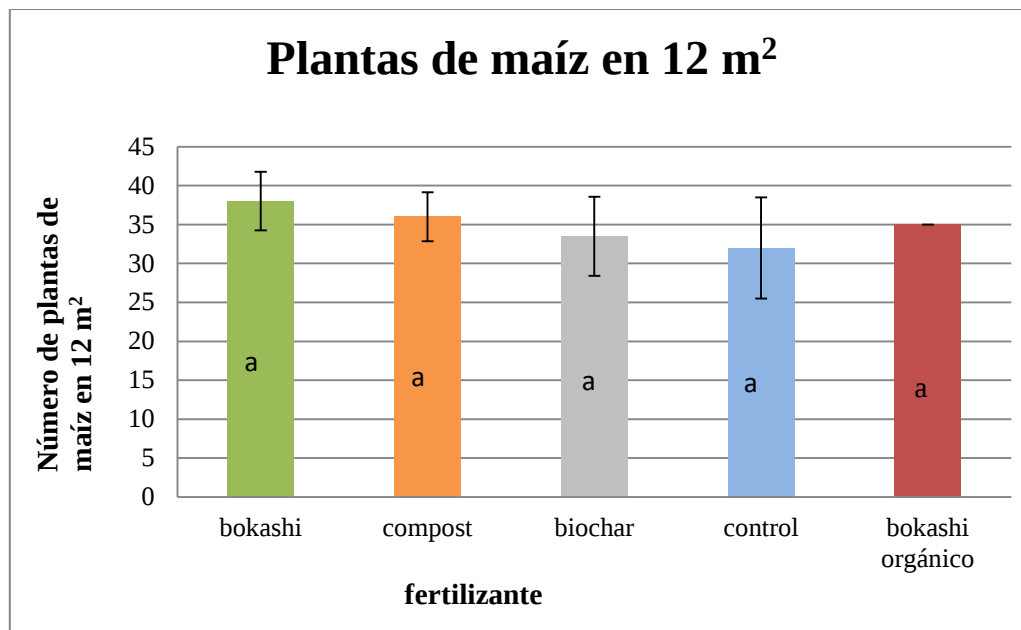


Figura 10. Plantas de maíz del total de las semillas que se plantaron en las unidades experimentales con distintos tratamientos.

6.1.5. Deficiencias visuales en las plantas de maíz.

Las deficiencias de nitrógeno, fósforo, hierro, magnesio, manganeso y calcio durante el primer, segundo y tercer mes de vida de las plantas se exponen en las figuras 11, 12 y 13.

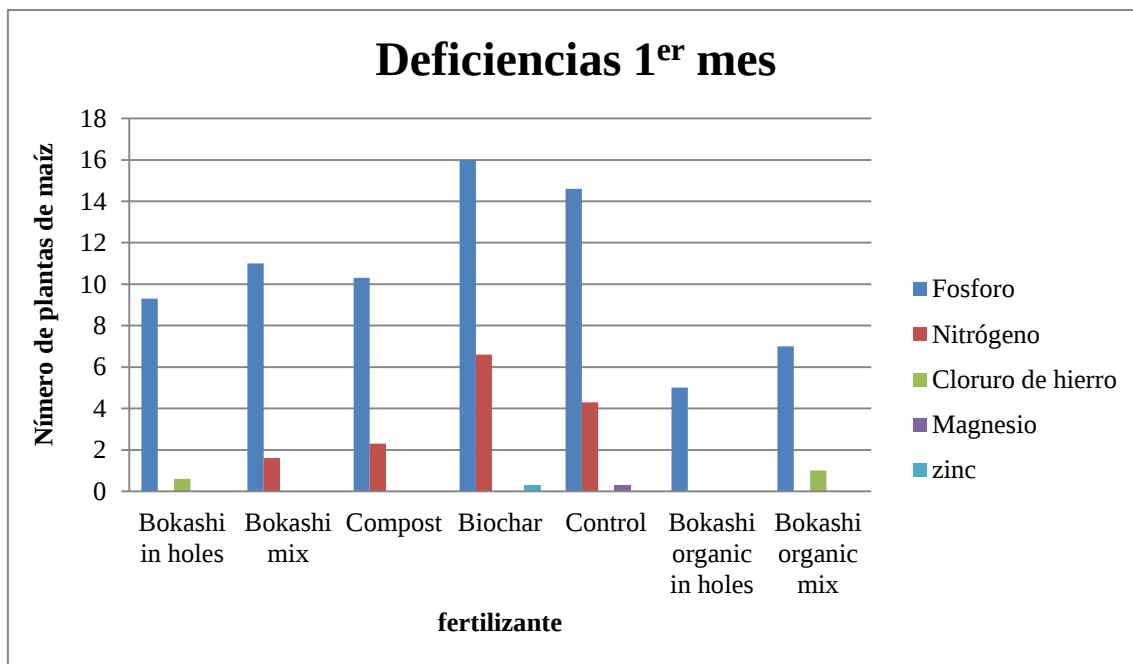


Figura 11. Deficiencias visuales en plantas de maíz para distintos nutrientes en las distintas unidades experimentales en el primer mes.

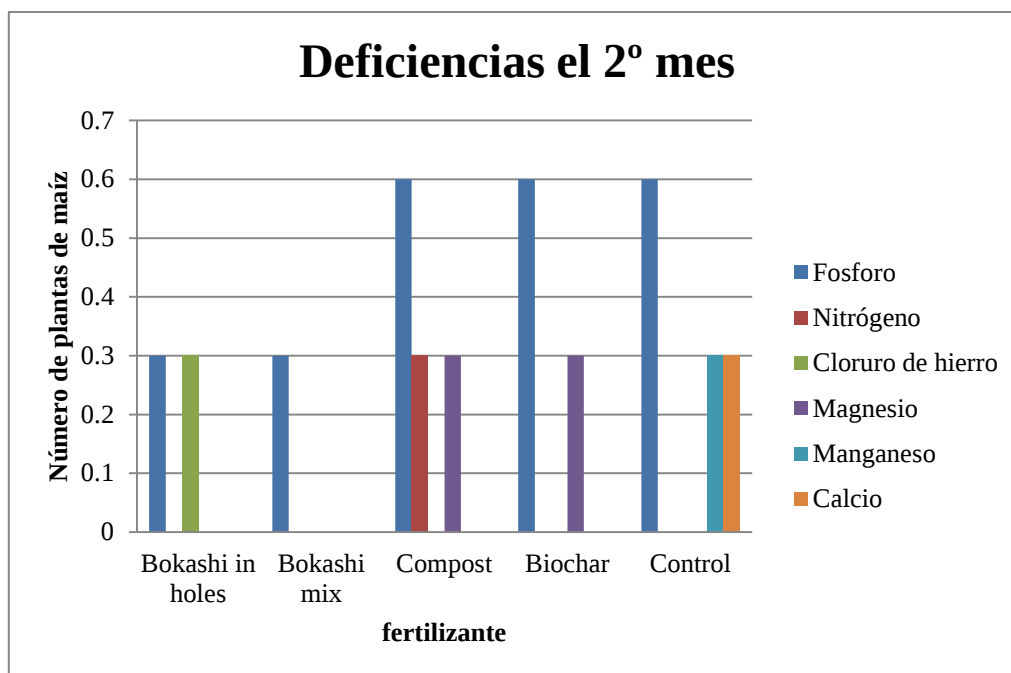


Figura 12. Deficiencias visuales en plantas de maíz para distintos nutrientes en las distintas unidades experimentales el segundo mes.

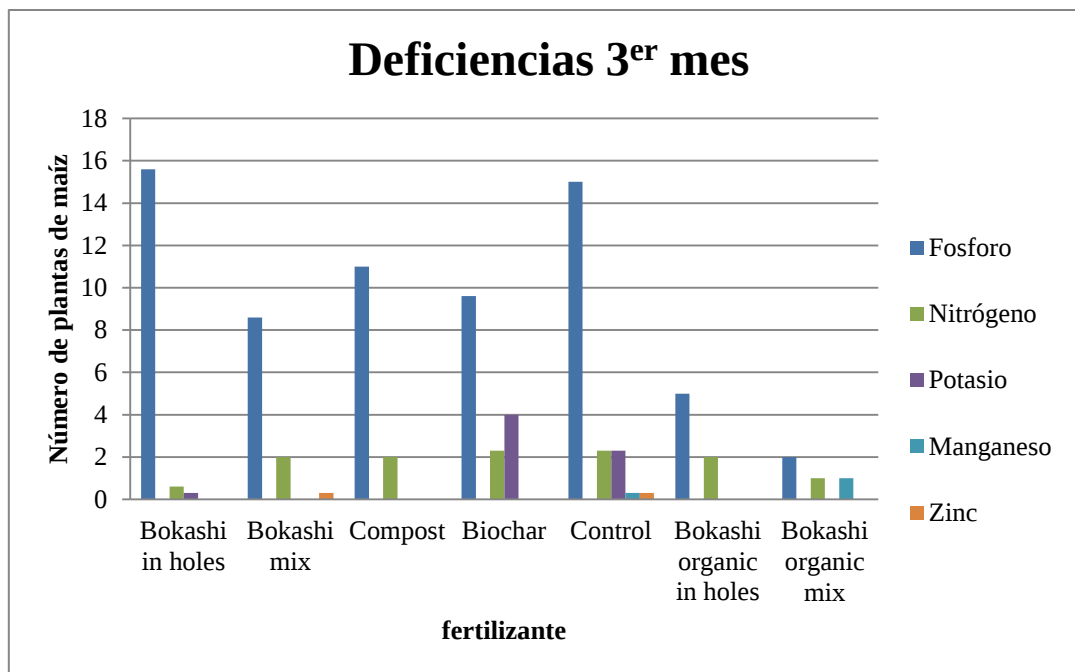


Figura 13. Deficiencias visuales en plantas de maíz para distintos nutrientes en las distintas unidades experimentales en el tercer mes.

Para todos los periodos y en general para el conjunto de las unidades experimentales, el mayor número de plantas que mostró deficiencia fue para el fósforo. Durante los dos primeros meses, un mayor número de plantas en las parcelas con biochar y control mostraron deficiencias para el P, aunque el tercer mes otras unidades experimentales mostraron valores similares. El tratamiento con menos número de plantas con deficiencias visuales para el conjunto de todos los nutrientes fueron aquellas correspondientes a bokashi biológico.

Solo se detectó cierto grado de deficiencia para el nitrógeno durante el primer mes y especialmente en aquellas plantas en las parcelas de control y biochar.

6.2. PRODUCCIÓN DE BIOMASA.

Tabla 8. Producción de la biomasa.

Fertilizante	Producción biomasa (sin grano) (ton ha ⁻¹)	Producción grano (ton ha ⁻¹)	Producción de mazorcas de maíz (ton ha ⁻¹)
Bokashi in hole	15.6±3.2	5.1±1.1	1.4±0.2
Bokashi mix	15.4±2.6	4.4±0.8	1.5±0.1
Compost	15.8±3.8	6.1±2.4	1.4±0.5
Biochar	13.5±2.6	4.5±0.4	1.7±0.1
Control	13.3±2.8	4.8±0.6	1.9±0.6
Bokashi orgánico	17.1±1.1	9.8±3.0	2.1±0.2

La producción de biomasa aérea distinta al grano (toneladas ha⁻¹), producción de grano de maíz (toneladas ha⁻¹) y la producción de biomasa (toneladas ha⁻¹) se exponen en las figuras 14, 15 y 16.

Para el conjunto de los tratamientos de la producción de biomasa aérea (excluyendo los granos) osciló en promedio de 15.1 ton ha⁻¹, siendo más bajo del de biochar y compost (13.3 ton ha⁻¹) y 17.1 ton ha⁻¹ para el tratamiento bokashi biológico (toneladas de peso seco por hectárea). No hubo diferencias significativa (ANOVA de 1 vía)

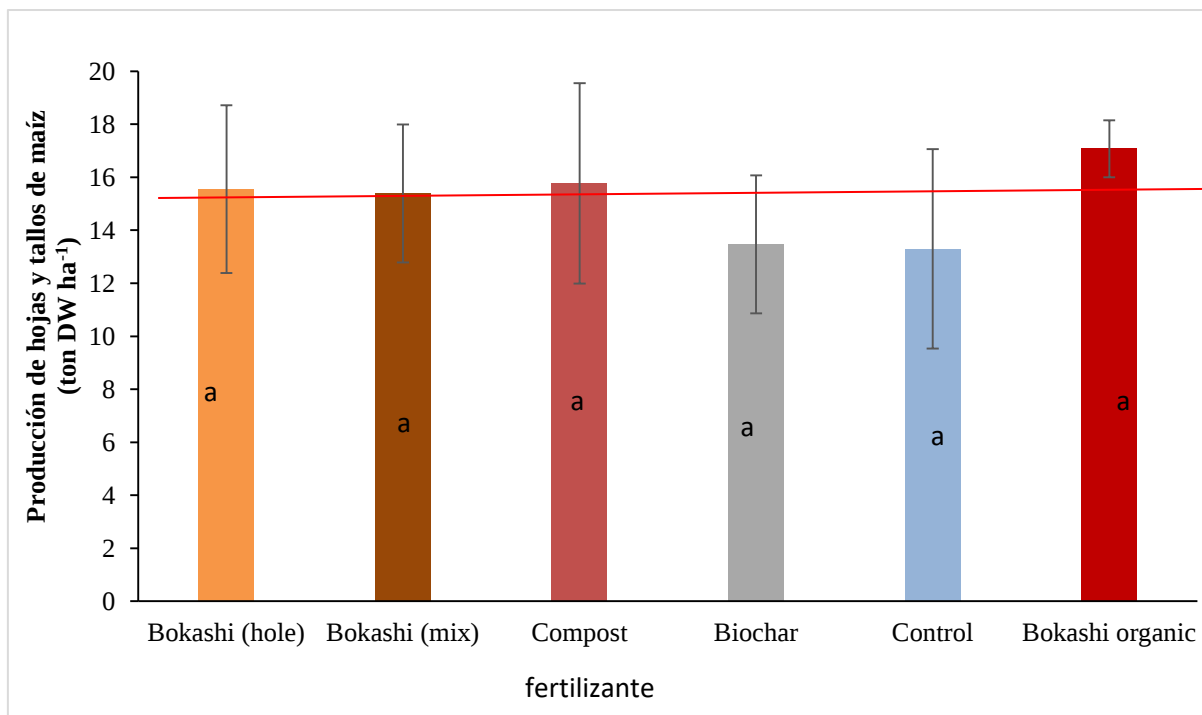


Figura 14. Producción de hojas y tallos de maíz (ton ha⁻¹)

Por otra parte, la producción de granos de maíz oscilo entre 4.3 ton ha⁻¹ y 9.8 ton ha⁻¹. Los valores más altos se obtuvieron para el tratamiento del bokashi orgánico. Los menores para el bokashi mezclado, biochar y control. No hubo diferencia entre los distintos tratamientos, a excepción de aquella parcela a la que se añadió bokashi orgánico, que fue significativamente superior con respecto al resto.

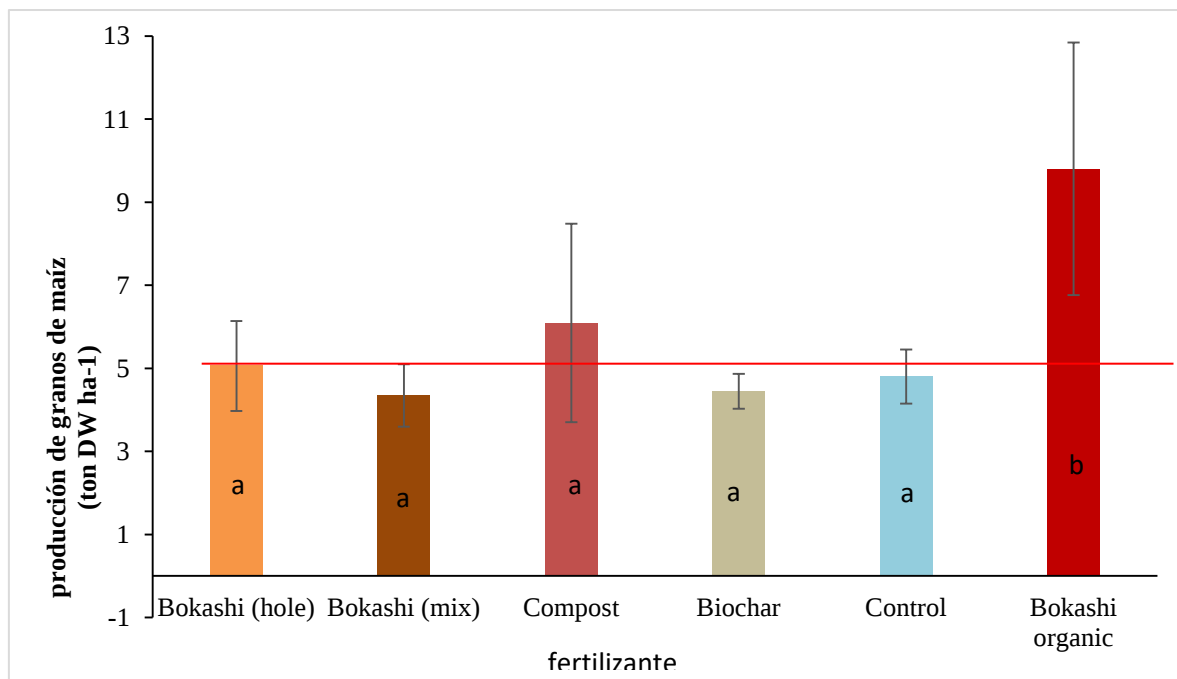


Figura 15. Producción de granos de maíz (ton ha⁻¹).

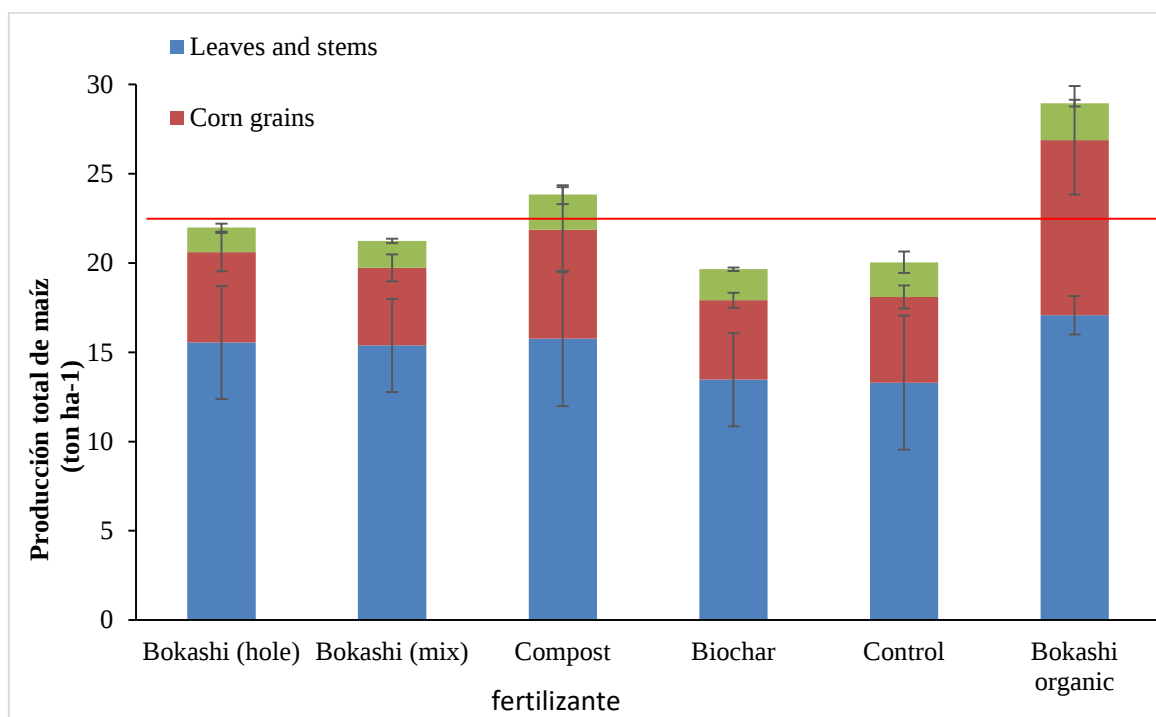


Figura 16. Producción total del maíz (ton ha⁻¹).

En la figura 16 se puede observar como para la biomasa aérea sin grano, los valores más bajos han sido para el biochar y el control, siendo sus valores de 13.5 ton ha^{-1} y 13.3 ton ha^{-1} respectivamente. El que más biomasa sin grano ha producido ha sido el bokashi orgánico, alcanzándose un valor de 17.1 ton ha^{-1} .

En cuanto a las mazorcas de maíz, sin contar el grano, hay que destacar que las que menos han producido son el bokashi en agujeros y el compost con 1.4 ton ha^{-1} . Seguido del bokashi mezclado en el suelo con 1.5 ton ha^{-1} . Como en la producción de biomasa aérea sin grano, la que más ha producido de biomasa en mazorcas ha sido el bokashi orgánico.

Sin embargo, la producción de grano del compost es la que más dispareja ha salido en cuando a las otras dos. El compost ha tenido una producción de grano de 6.11 ton ha^{-1} , frente a los 4.4 ton ha^{-1} que se ha obtenido a través del bokashi mezclado con el suelo.

No hubo diferencia entre los distintos tratamientos, a excepción de aquella parcela a la que se añadió bokashi orgánico, que fue significativamente superior con respecto al resto, llegándose a alcanzar una producción de grano de 9.8 ton ha^{-1} .

El 75% de la biomasa correspondió a la biomasa que no fue grano. Es decir valores entre 79.3 % para el caso del bokashi mezclado y 66.2% para el bokashi orgánico fueron producción de biomasa no comercializable y tan solo el resto fue maíz.

7. DISCUSIÓN.

En este ensayo, se ha obtenido una producción por hectárea de maíz cuatro veces mayor que la media producida en Burundi [9].



Imagen 26. Paisaje agrario muy colinado (fuente propia).

La razón de esta elevada producción esta sobre todo en la utilización de semillas certificadas y libres de insectos y gorgojos. Esto es importante ya que se debería fomentar el uso de este tipo de semillas entre los agricultores, o se les debería de orientar para la conservación de sus semillas.

Otra razón de la buena producción de maíz obtenida es que los niveles iniciales de materia orgánica en la parcela experimental utilizada es muy alta (7%), además de tratarse de una materia orgánica muy activa y poco recalcitrante (como podrían ser las huminas, y que podríamos encontrar en suelos muy ‘castigados’ por agricultura de subsistencia o intensiva), capaz de liberar una gran cantidad de nutrientes a la solución del suelo y nutrir la planta. Razón por la cual nuestros resultados no han salido muy dispares, ya que el suelo era muy rico en nutrientes y por lo tanto el efecto de las enmiendas se ha visto muy reducido.

El origen de esta materia orgánica ha estado en el aporte de residuos orgánicos de jardinería y huerta, residuos de una fosa séptica cercana, etc. de forma constante. Esto podría servir de criterio general y orientador para estimular a la población campesina para la utilización de enmiendas orgánicas de forma generalizada, y que garantice una fertilización de los suelos más adecuada y prolongada en el tiempo.

Algunas de nuestras plantas han llegado a medir hasta dos metros y medio, como ha sido el caso de una planta medida en la parcela B de compost. Esta altura está directamente relacionada con el tipo de semilla usado. El tipo de maíz empleado es el maíz americano (*Zea Mays*) certificado, y que ha sido facilitado por Faculté d’Agronomie & Agribusiness, Université de Ngozi.

Se optó por esta opción debido al deterioro de las semillas locales. Por lo que la altura de la planta sembrada en Burundi tiene las características de este tipo de maíz. La altura de este tipo de maíz ronda entre los 1, 2 y 3m de altura, nuestras plantas tiene como media una altura de 2m.

Observando las figuras 8, 9 y 10, se ve como al usar la enmienda de bokashi orgánico se pueden dar dos situaciones, dependiendo de la técnica que se haya usado, bien añadiéndolo a pequeños agujeros al lado de las semillas o mezclándolo con el terreno.

Si usamos la técnica de los agujeros se se puede observar claramente como la altura de la planta es la mayor, pero la cantidad de hojas y de mazorcas por planta es muy inferior. Sin embargo si observamos los valores obtenidos en el bokashi orgánico esta vez mezclado por la parcela, se puede ver como aun no siendo una de las mejores en altura, el número de hojas y mazorcas es muy significativa. Por lo tanto entre añadir el bokashi en agujeros y mezclado, habría que descartar la técnica de los agujeros, ya que la finalidad no es que la planta sea más alta que las demás, sino que produzca más.

La forma de añadir el Bokashi en agujeros es la técnica tradicional para aplicar esta enmienda en numerosos países del mundo. La cercanía de la enmienda, con su carga

nutricional y microbiológica a la base de la planta, parece tener un efecto más beneficioso a nivel de producción. El esparcimiento del bokashi sobre la superficie del suelo podría tener un efecto mermante de la actividad biológica de esta enmienda. Hay que recordar que el bokashi es esencialmente, mejoras de la calidad biológica del suelo, y por tanto, con un efecto decisivo sobre su fertilidad.

Si por el contrario observamos las diferencias entre el bokashi tratado con pesticidas tanto en agujeros como mezclado, la diferencia no es muy notable. Solo se diferencia en el número de hojas, que en agujeros es menor que en el que se mezcló; y la altura que ocurre al contrario, con la técnica que usa agujeros es mayor el resultado que mezclándolo por el terreno. Sin embargo esto no es significativo si comparas el número de mazorcas que han salido por planta, ya que en las dos modalidades se han obtenido el mismo número de mazorcas.

Comparando los fertilizantes de biochar y compost, con la parcela de control, a la que no se le ha añadido ninguna enmienda, cabe destacar que los resultados obtenidos han sido más beneficiosos en el caso del control. Esto ha ocurrido en el número de hojas, altura de las plantas y el número de mazorcas.

En cuanto a las hojas, este tipo de plantas suelen producir de 16 a 22 hojas por planta [8]. Nuestra plantación ha producido de media unas 13 hojas por planta. Esto puede ser debido al tipo de variedad del maíz o incluso a las condiciones climáticas o de manejo del cultivo.

El número medio de mazorcas en la *Zea Mays* es de 2.5 mazorcas por planta. En el experimento realizado solo hemos obtenido 1 mazorca por planta, o como mucho dos mazorcas en alguna que otra planta. Esto quiere decir que hasta las enmiendas que más mazorcas han obtenido se quedan por debajo de la media.

Comparando la figura 10 con la 9, se puede ver como el control es la enmienda en la que menos plantas han salido, solo 32 plantas de las 40 semillas que se habían plantado. Sin embargo es una de las enmiendas que más mazorcas ha producido, junto con las del bokashi orgánico mezclado en el suelo.

La principal deficiencia tiene que ver con el fósforo, por otro lado, muy propio de suelos tropicales. Este elemento tiene una alta tendencia a precipitar, precipita con carbonato cálcico a pH alto y con minerales secundarios de óxido de hierro y aluminio a pH bajo, como es este caso. El pH de esta zona como ya se ha comentado anteriormente es muy bajo y está muy lavado por lo que tiene un alto contenido en óxido de hierro y aluminio, por eso tiene esa tonalidad rojiza tan característica. Puede ser que el suelo que estamos trabajando este colmado de fósforo pero no esté disponible para las plantas.

En cuanto a la cantidad de nitrógeno en la parcela, se debería de realizar otra vez con los nuevos cálculos, para añadir las distintas dosis de nitrógeno, esta vez más ajustadas, y poder establecer una comparativa efectiva entre tratamientos.

Para saber qué es lo que ocurre con el resto de nutrientes, se debería de realizar un estudio más exhaustivo a las plantas y al suelo analizando todos estos parámetros necesarios. Esto ha sido imposible de realizar, debido a las dificultades encontradas en la recogida y posterior entrega de las muestras a la Universidad de Jaén.

8. CONCLUSIONES.

Es esencial la conservación de las semillas por parte de los Batwa, ya que resulta un punto clave para el crecimiento de las plantas.

De las técnicas usadas para este proyecto, de la que más resultados se han obtenido ha sido el bokashi orgánico.

Se debería de fomentar el mezclado con el suelo de los residuos domésticos y de las podas agrícolas, para usarlos de fertilizantes naturales.

Con el conocimiento previo del que ahora se dispone, el ensayo necesariamente debe ser ampliado en el tiempo, al menos dos años más.

Necesariamente, si queremos que estas técnicas lleguen a la población local, debemos hacer un esfuerzo para instalar y desarrollar esas prácticas en la misma tierra de los Batwa.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendonça Santos Brefin, M.L., Montanarella, L., Muñiz Ugarte, O., Schad, P., Vara Rodríguez, M.I., Vargas, R., (eds) 2014. Atlas de suelos de América Latina y el Caribe, Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, L-2995 Luxembourg, 176 p.

Havlin, J .L., J. D. Beaton, S. L. Tisdale., W. L. Nelson., 2005. Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management. 7th edition. Pearson Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey, U.S.A.

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.

Kaboneka, S., 2015. Soil fertility status and challenges in Burundi: an overview. In EGU General Assembly Conference Abstracts (Vol. 17, p. 1134).

Lehmann, J., da Silva, Jr. J. P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., Glaser, B. 2003a. Nutrient availability and leaching in an archeological anthrosol and a ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant Soil*, 249, 343-57.

Lehmann, J., Kern, D. C., Glaser, B., Woods, W.I., 2003b. In Lehmann, C.J., Kern, D.C., Glaser, B., Woods, W. I. (Eds.). *Amazonia Dark Earths: Origin, Properties, Management*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht. Schoeneberger, P.J., Wysocki, D.A., Benham, E.C., Broderson, W.D., 1998. *Field book for describing and sampling soils*. Natural Resources Conservation Service, USDA, National Soil Survey Center, Lincoln, NE, 128 p.

Mingorance, M.D., Barahona, E., Fernández-Gálvez, J., 2007. Guidelines for improving organic carbon recovery by the wet oxidation method. *Chemosphere* 68, 409–413.

Stevenson, F. J., 1994. *Humus Chemistry, Genesis, Composition, Reactions*. Wiley and Sons, New York.

Van Straaten, P., 2002. *Rocks for Crops: Agrominerals of sub-Saharan Africa*. ICRAF, Nairobi, Kenya, 338p.

Von Uexkull, H. R., 1982. Problem soils for food crops in the humid tropics. *Int. Symp. Distribution, Characteristics and Utilization of problematic Soils*, Proc. P 139-152. Trop. Agric. Res. Centre. Min. Agric. For. Fish., Tsukuba, Japan. Trop. Agric. Res. Series no 15.

10. REFERENCIAS WEBS.

[1] <http://www.datosmacro.com/demografia/poblacion/burundi>

[2] <http://datos.bancomundial.org/pais/burundi>

[3] <http://www.countrysimeters.info/es/Burundi/>

[4] <http://www.everde.cl/2011/04/los-problemas-de-la-erosion-y.html>

[5] <http://www.agriculture.vsu.edu/files/images/special-programs/githinji-composting-revision.pdf>

[6] http://www.infoagro.com/agricultura_ecologica/agricultura_ecologica.htm

[7] <http://enmiendasorganicas.blogspot.com.es/>

[8] <https://www.mayas1.com/maiz-origen-anatomia-usos/>

[9] <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QV>