Efektivitas Biochar Sekam dan Jerami Padi Pada Tanah Bekas Tambang Batubara Terhadap Sifat Kimia Tanah pada Tanaman Jagung Manis (The Effectiveness of Biochar Rice Husk and Rice Straw on Ex-Coal Mining Soil on Soil Chemical Properties)

Kiki Surianti¹, Syakur¹, Darussman^{1*}

¹ Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala

*Corresponding author: Darusman@unsyiah.ac.id

Abstrak. Pemanfaatan bahan organik seperti biochar jerami padi dan sekam padi merupakan salah satu solusi untuk memperbaiki sifat kimia tanah dan mendukung pertumbuhan tanaman jagung dalam konteks meningkatkan kesuburan tanah dan mampu memulihkan kualitas tanah yang telah terdegradasi. Penelitian ini menggunakan metode rancangan acak kelompok (RAK) non faktorial, di mana terdapat lima (5) perlakuan yang diulang sebanyak tiga (3) kali sehingga didapatkan 15 pot percobaan, perlakuannya yaitu : P0: Kontrol, P₁: Biochar Jerami Padi 10 ton⁻¹, P₂: Biochar Jerami Padi 20 ton⁻¹, P₃: Biochar Sekam Padi 10 ton⁻¹, P₄: Biochar Sekam Padi 20 ton⁻¹. Parameter pengamatan berupa sifat kimia tanah yaitu : pH, C-organik, N-total, P-tersedia, dan K-total. Hasil analisis sifat kimia tanah menunjukkan bahwa perlakuan pemberian jenis dan dosis jerami padi 20 ton ha⁻¹ lebih baik dibandingkan dengan perlakuan lainnya dimana dapat meningkatkan pH, K, dan KTK secara nyata.

Kata Kunci: Biochar, Jerami padi, sekam padi, sifat kimia, kualitas tanah.

Abstract. Utilization of organic materials such as rice straw and rice husk biochar is one solution to improve soil chemical properties and support the growth of maize plants in the context of increasing soil fertility and being able to restore the quality of degraded soil. This study used a non-factorial randomized block design (RBD) method, in which there were five (5) treatments that were repeated three (3) times so that 15 experimental pots were obtained, the treatments were: P0: Control, P₁: Biochar Rice Straw 10 ton⁻¹, P₂: Rice Husk Biochar 20 ton⁻¹, P₃: Rice Husk Biochar 10 ton⁻¹, P₄: Rice Husk Biochar 20 ton⁻¹. The observation parameters were in the form of soil chemical properties, namely: pH, C-organic, N-total, P-available, and K-total. The results of the analysis of soil chemical properties showed that the treatment of rice straw type and dose of 20 tons ha⁻¹ was better than other treatments which significantly increased pH, K, and CEC.

Keywords: Biochar, rice straw, rice husk, chemical properties, soil quality

PENDAHULUAN

Pertambangan batubara merupakan suatu kegiatan eksplorasi, pengamatan, pemanfaatan, penelitian, pengambilan, pengelolaan serta pemasaran atau jual beli hasil alam berupa mineral ataupun batubara (UU Mineralogi No. 4 Tahun 2009). Kegiatan pertambangan merupakan kegiatan yang memberikan dampak dan pengaruh bagi luar dan dalam Negeri terutama dalam permasalahan nilai ekonomi, akan tetapi kegiatan pertambangan merupakan suatu kegiatan yang menyisakan dampak negatif yang begitu luas akibat proses penggalian dan perubahan *landskap* (Fagi *et al.*, 2006).

Keadaan lahan yang paling menonjol yaitu kerusakan secara fisik, dengan tingkat kadar pori yang sedikit dan memiliki kesuburan tanah yang sangat rendah, dengan demikian diperlukan bahan pembenah tanah yang sedikitnya dapat memperbaiki tanah tersebut baik dalam konteks memperbaiki sifat fisika, kimia maupun biologi (Mansyah, 2013).

Bahan sisa pertanian yang diproses dengan pembakaran pada suhu tertentu dan dengan sedikit udara sehingga menjadi berubah bentuk menghitam seperti arang merupakan

bahan organik yang disebut biochar atau arang hayati, dimana bahan ini awet didalam tanah dan mampu menyimpan CO₂ (Bambang, 2012). (Asai *et al.*, 2009) menyatakan bahwa pemberian pembenah ini mampu memperbaiki kekritisian suatu lahan yang miskin unsur hara atau terdegradasi.

Pengolahan lahan terdegradasi dapat dilakukan dengan cara menggunakan pembenah tanah atau sering disebut dengan amelioran tanah. Penggunaan amelioran merupakan cara yang dapat mempercepat perubahan kesuburan tanah untuk lebih optimal. Bahan organik menurut Leiwakabessy *et al.* (2003) dapat berfungsi meningkatkan pH tanah, kesuburan tanah unsur hara, kemampuan tanah mengikat air, memperbaiki struktur tanah, mengaktifkan mikroorganisme, memperbesar kapasitas tukar kation dan menetralkan Al pada tanah masam.

Penambahan bahan organik pada tanah merupakan salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah unsur hara yang rendah dan tingkat kemasaman tanah yang tinggi serta mempercepat proses ameliorasi tanah. Dekomposisi bahan organik dapat membuat tanah secara efisien diperbaiki dan ternutrisi (Tan 2010).

Hasil penelitian Sufardi *et al.* (2013), menunjukkan bahwa pH tanah, P-total, P-tersedia memberikan pengaruh nyata akibat hasil pemberian amelioran organik seperti biochar. Selain itu hasil penelitian Purba (2015), menunjukkan bahwa pemberian arang hayati jerami dan sekam padi dapat meningkatkan nilai pH tanah, C-organik, KTK dan N sehingga dapat mendorong dan mendukung pertumbuhan tanaman juga memperbaiki kualitas tanah tersebut, seperti pengaplikasian bahan amelioran seperti biochar yang terbuat dari sisa tanaman seperti daun padi, kulit ari padi dapat meningkatkan dan memperbaiki sifat kimia tanah marginal Nigussie *et al.* (2012).

Salisbury dan Ross, (1992), menyatakan bahwa tanaman jagung ialah tanaman yang membutuhkan nutrisi baik secara kimia, fisika maupun biologi, dimana hal tersebut tidak tersedia pada lahan terdegradasi maupun kritis sehingga perlu dilakukan perbaikan tanah menggunakan ameliorasi atau arang hayati untuk mendorong tumbuh dan kembang tanaman jagung dan juga memperbaiki kesuburan tanah terutama dalam aspek kimia tanah yang di perlukan oleh tanaman jagung.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di kebun percobaan Fakultas Pertanian Sektor Timur Universitas Syiah Kuala, Darussalam, Banda Aceh. Tanah media tanam diambil dari areal bekas tambang batu bara yang berasal dari lahan PT. MIFA Bersaudara yang berlokasi di Kabupaten Aceh Barat, Provinsi Aceh. Analisis sampel tanah dilakukan di Laboratorium Tanah dan Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala. Penelitian berlangsung selama enam bulan, yaitu pada bulan Juni sampai Desember 2019. Alat yang digunakan dalam penelitian adalah GPS (*Global positioning system*) untuk mengambil titik koordinat pengambilan sampel tanah, pH tester, pot ukuran tinggi 40 cm dengan diameter atas 28 cm, cangkul, sekop, ayakan tanah ukuran 5 mm, ayakan biochar ukuran 2 mm timbangan, pisau, sarung tangan, drum untuk pembakaran biochar, meteran, sekop, alat tulis-menulis. Bahan percobaan tanah sebagai media tanam diambil dari areal bekas tambang batu bara PT. MIFA Bersaudara yang berlokasi di Kabupaten Aceh Barat, benih jagung Bonanza varietas F di dapatkan dari toko pertanian UD Usaha Tani Mandiri Desa Tungkup, Aceh Besar, bahan amelioran berupa biochar yang dibuat dari bahan jerami padi yang diambil di lahan sawah petani daerah Gampong Limpok, Darussalam dan sekam padi yang diambil dari kilang padi

yang berlokasi di Desa Tanjung Selamat, Darussalam, Aceh Besar, pupuk Urea, SP-36 dan KCl serta beberapa bahan kimia untuk analisis sifat kimia tanah di laboratorium.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) non faktorial dengan lima (5) perlakuan dan tiga (3) kali ulangan. P₀: Kontrol, P₁: Biochar Jerami Padi 10 ton⁻¹, P₂: Biochar Jerami Padi 20 ton⁻¹, P₃: Biochar Sekam Padi 10 ton⁻¹, P₄: Biochar Sekam Padi 20 ton⁻¹. Selanjutnya untuk mengetahui pengaruh dari pemberian biochar terhadap sifat kimia dan pertumbuhan tanaman jagung manis dilakukan analisis ragam (uji F) dan apabila terdapat perbedaan yang signifikan maka dilakukan uji lanjut Beda Nyata Jujur (BNJ) pada taraf 5%. Parameter yang diamati yaitu pH H₂O tanah dengan metode Elektrometrik, KTK dengan metode Ekstraksi NH₄OACPh₇, C-organik dengan metode Walkey and Black, N-total dengan metode Kjeldahl atau Destilasi, P-tersedia dengan metode Bray 1, dan K-total dengan metode Ekstrak HCl 25 %.

HASIL dan PEMBAHASAN

Pengaplikasian biochar Jerami padi dan sekam padi dapat meningkatkan efektivitas dalam perbaikan sifat kimia tanah pada tanah marginal yang disebabkan oleh aktivitas pertambangan (Tabel 1), dimana dapat kita lihat bahwa pemberian biochar Jerami padi lebih efektif dibandingkan dengan pemberian biochar sekam padi, dan dapat kita lihat bahwa pemberian biochar jerami padi berpengaruh terhadap pH, KTK dan K.

Tabel 1. Hasil analisis tanah akibat perlakuan pemberian biochar Jerami padi dan sekam padi

Perlakuan	pH	KTK	C-organik	N-total	K-total	P-tersedia
		...Cmol kg ⁻¹ ...	%.....			...ppm...
P ₀	5,30 abc	10,00 a	0,12 a	0,71 a	0,45 ab	0,45 a
P ₁	5,55 bc	12,13 b	0,20 a	0,71 a	0,66 bc	1,18 a
P ₂	5,63 c	12,40 b	0,18 a	0,72 a	1,27 c	1,88 a
P ₃	5,04 a	11,33 ab	0,26 a	0,72 a	0,33 a	1,17 a
P ₄	5,07 ab	12,13 b	0,13 a	0,71 a	0,45 abc	0,55 a

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji BNJ_{0,05}.

Pengaplikasian jenis dan dosis biochar setelah diuji BNJ_{0,05} disajikan Tabel 1 menunjukkan bahwa perlakuan biochar jerami padi 20 ton ha⁻¹ lebih tinggi yaitu di angka 5,63 dibandingkan dengan perlakuan biochar sekam padi 10 ton ha⁻¹ di angka 5,04. Hal ini kemungkinan dikarenakan bahwa jenis biochar jerami padi lebih efektif dibandingkan dengan jenis biochar sekam padi, dan juga dipengaruhi oleh semakin banyak dosis biochar yang diberikan maka semakin berpengaruh meningkatkan pH tanah. Hal ini juga di dukung oleh penelitian Vici *et al.*, 2018 yang menyatakan bahwa penggunaan biochar jerami padi lebih baik dibandingkan biochar lainnya dalam meningkatkan pH tanah, dan penggunaan biochar 20 ton ha⁻¹ lebih baik dalam meningkatkan pH tanah dibandingkan dosis 10 ton ha⁻¹ (Arista *et al.*, al

2017). Dari nilai rata-rata Tabel 5 dapat kita lihat bahwa perlakuan biochar jerami padi 20 ton ha⁻¹ masuk dalam kategori agak masam, sedangkan perlakuan lainnya dalam satu kategori masam.

Pengaplikasian perlakuan pemberian biochar jerami padi 20 ton ha⁻¹ dengan nilai 12,40 lebih baik dibandingkan dengan perlakuan kontrol dengan nilai 10,00. Hal ini kemungkinan dipengaruhi oleh semakin banyaknya biochar yang diberikan semakin tinggi ketersediaan KTK di dalam tanah dan juga dipengaruhi oleh pH tanah, didukung dengan hasil penelitian (Steiner *et al.*, 2007). Hal serupa juga dijelaskan oleh (Glaser *et al.*, 2002) semakin banyak pemberian dosis biochar ke dalam tanah maka semakin bagus dalam penyediaan KTK di dalam tanah. Dosis biochar sangat berpengaruh terhadap reaksi-reaksi pertukaran ion di dalam tanah (Ni Wyn. 2007).

Rata-rata nilai C-organik akibat perlakuan dari metode pemberian jenis dan dosis biochar setelah diuji BNJ_{0,05} disajikan Tabel 6 menunjukkan bahwa perlakuan biochar sekam padi 10 ton ha⁻¹ dengan nilai 0,26% lebih baik dibandingkan dengan kontrol dengan nilai 0,12% hal ini kemungkinan dikarenakan bahwa pemberian jenis biochar dapat meningkatkan unsur hara di dalam tanah karena sifat biochar yang dapat menyuplai unsur hara dengan baik di dalam tanah (Schnell, *et al.* 2011), menurut Solaiman dan Anwar (2015) tingkat alkalinitas dalam biochar merupakan salah satu faktor biochar berkontribusi terhadap potensinya sebagai kapur. Selain itu, biochar juga dapat mengikat C-organik di tanah sehingga tetap stabil dan tidak mudah terdekomposisi oleh mikroorganisme.

Hammes dan Schmidt (2009) menyatakan fungsional di permukaan biochar dapat menyerap C-organik yang ada di dalam tanah. hal tersebut juga sejalan dengan hasil penelitian yang dinyatakan oleh (Salawati *et al.*, 2016), bahwa pemberian biochar sekam padi 10 ton ha⁻¹ dapat meningkatkan nilai C-organik, dimana pemberian biochar dapat meningkatkan proses ketersediaan hara (sujana, 2014). Pada Tabel 1 rata-rata nilai C-organik pada semua perlakuan masuk dalam kategori sangat rendah.

Efektivitas pemberian jenis dan dosis biochar setelah diuji BNJ_{0,05} menunjukkan bahwa perlakuan jenis dan dosis biochar setara dan dikategorikan sangat rendah. Hal ini diduga karena dari sifat N itu sendiri yang mudah menguap, sedangkan pada proses pembuatan biochar dilakukan pembakaran yang kemungkinan mengakibatkan N yang berada pada jerami padi dan sekam padi ikut tidak tersedia dan terfiksasi. Munir, 1996 menyatakan bahwa pemberian dosis pupuk N ke dalam tanah tambang dibutuhkan dalam jumlah tinggi sehingga ketersediaan N bagi tanah tersedia, hal ini berdasarkan penelitian (Firmansyah dan Sumarni, 2013), bahwa semakin banyak dosis pupuk N yang diberikan ke dalam tanah maka ketersediaan N semakin tinggi di dalam tanah.

Pemberian biochar jerami padi 20 ton ha⁻¹ dengan nilai 1,27% lebih baik dibandingkan dengan perlakuan biochar sekam padi 10 ton ha⁻¹. Hal ini mungkin disebabkan karena kapasitas lapang jerami padi lebih besar dibandingkan dengan biochar sekam padi sehingga biochar jerami padi lebih baik dalam memperbaiki tanah. Hal ini juga berdasarkan penelitian (Widowati *et al.*, 2012) yang menyatakan bahwa penyediaan K di dalam tanah tergantung jenis biochar yang diberikan, semakin besar kapasitas lapang dari suatu biochar semakin bagus dalam menyediakan unsur K-total di dalam tanah. Pada Tabel 1 dapat kita lihat bahwa pemberian biochar dengan dosis 20 ton ha⁻¹ bernilai lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan 10 ton ha⁻¹. Hal ini diduga bahwa semakin besar dosis biochar yang diberikan maka semakin baik dalam ketersediaan K di dalam tanah, sejalan dengan hasil penelitian (Firman, 2017) yang menyatakan semakin besar dosis biochar maka semakin tinggi nilai K-total di dalam tanah. pada Tabel 9 rata-rata nilai K-total di kategorikan sangat rendah.

Rata-rata nilai P-tersedia akibat perlakuan dari metode pemberian jenis dan dosis biochar setelah diuji $BNJ_{0,05}$ disajikan Tabel 9 menunjukkan bahwa perlakuan pemberian jerami padi 20 ton ha^{-1} dengan nilai 1,88ppm lebih baik dibandingkan dengan perlakuan kontrol dengan nilai 0,45ppm. Hal ini kemungkinan terjadi karena unsur P yang di berikan melalui pupuk P masih terserap oleh biochar dan belum sepenuhnya tersedia bagi tanah, sehingga ketika dilakukan analisis tanah unsur hara P masih sangat rendah di dalam tanah tersebut. Selain itu juga ketersediaan P di pengaruhi oleh pH tanah, dimana P akan tersedia di dalam tanah pada pH 6 – 7 (ICM, 2000), hal ini yang kemungkinan menjadi salah satu faktor tidak tersedianya P di dalam tanah atau rendahnya P tersedia di dalam tanah, karena pH tanah 5,04 – 5,63 (masam). Pada Tabel 1 rata-rata nilai P-tersedia pada semua perlakuan masuk dalam kategori sangat rendah.

KESIMPULAN

Pemberian biochar Jerami padi 20 ton ha^{-1} dapat meningkatkan perbaikan sifat kimia pH, KTK dan K secara nyata dibandingkan dengan perlakuan lainnya, akan tetapi pemberian jenis biochar sekam padi juga mampu memperbaiki sifat kimia tanah akibat aktivitas pertambangan batubara.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrade, F.H., P. Calvino dan A. Carilo. 2002. Yield responses to narrow row depend on increased radiation interception. *Argon.J.* 94 : 94-980.
- Ardiyanto, A.E. 2009. Pengaruh Pemberian Bahan Amelioran Senyawa Humat, Bahan Organik dan Kapur Terhadap Pertumbuhan Koro Benguk (*Mucuna prurirens*) pada Lahan Bekas Tambang Batubara Tambang Batulicin Kalimantan Selatan. Skripsi Dept. Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, IPB.
- Army, M.R. 2017. Tingkat kekritisian lahan di Sub DAS Dangkung DAS Bengawan Solo. Skripsi. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Asimihardja, A., S. Puarsah dan U. Kurnia. 2005. Pengaruh Pemberian Berbagai Jenis dan Takaran Pupuk Kandang Terhadap Produktivitas Tanah Terdegradasi di Desa Batin Jambi. *Jurnal Floratek.* 6:303-319.
- Barbieri, P. A., H.R.S. Rozas, F.H. Andrade dan H.E. Echererria. 2000. Soil Management; Row Spacing Effects at Different Levels of Nitrogen Availability in Maize. *Agron.j.* 92 : 283-288.
- Basta A. H., V. Fierro., H. El-Saied., and A. Celzard. 2011. Effect of rice straws on their derived activated carbons produced by phosphoric acid activation. *Biomass Bioenergy* 35:1954–1959.
- Chan, K.Y., B.L. Van Zwieten., L. Meszaros., D. Downie dan S. Joseph. 2007. Agronomic values of greenwaste biochars as a soil amendments. *Aust J. of Soil Resource.* 45 (2): 629-634.
- Fanany, F. 2000. Cara Tepat Memanfaatkan Pupuk Organik. Menuju Pertanian Tangguh 2. Yayasan Pengembangan Sinar Tani, Jakarta.
- Firman, Z. 2017. Pengaruh Residu Biochar Terhadap Sifat Kimia Tanah dan Pertumbuhan Tanaman ke-4. Skripsi Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- ICN. 2000. Soil testing and available phosphorus. *Integrated Crop Management.* IC-484 (22).

- Kumar, S. dan A. Pandey. 2013, Chemistry and Biological Activities of Flavonoids: An Overview, *The ScientificWorld Journal*, 2013, 1-16.
- Lehmann J., J. P.Silva., J.R.C. Steiner., T. Nehls., W. Zech., dan B. Glaser. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological anthrosol and a ferralsol of the central Amazon basin: Fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant Soil* 249:343–357
- Masulili, A., W. H. Utomo., dan Syekhfani. 2010. Rice husk biochar for rice based cropping system in acid soil 1. The characteristics of rice husk biochar and its Influence on the properties of acid sulfate soils and rice growth in West Kalimantan, Indonesia. *Journal of Agriculture Science* 3: 25-33.
- Maulana, A.P., M.M. Damanik dan S. Bintang. 2014. Pemberian bahan organik kompos jerami dan abu sekam padi dalam memperbaiki sifat kimia tanah Ultisol serta pertumbuhan tanaman jagung. *Jurnal Agroteknologi*. 4 : 1426-1432.
- Newar, T., Astia dan B. Setia. 2012. Pengaruh pemberian pupuk hayati terhadap pertumbuhan dan hasil jagung semi pada tanah Podsolik Merah Kuning. *Jurnal Sains Mahasiswa Pertanian*. 1 : 10-15.
- Notohadiprawiro, T. 2006. Pengelolaan Lahan dan Lingkungan Pasca Penambangan. Departemen Ilmu Tanah Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Nurida, N.L., A. Dariah dan A. Rachman. 2009. Kualitas limbah pertanian sebagai bahan baku pembenah berupa biochar untuk rehabilitasi lahan. *Prosiding Seminar Nasional dan dialog Sumberdaya Lahan Pertanian*. Tahun 2008. Hal 209-215.
- Nurida, N.L., A. Rachman dan Sutono. 2012. Potensi Pembenah Tanah Biochar Dalam Pemulihan Sifat Tanah Terdegradasi Dan Peningkatan Hasil Jagung Pada Typic Kanhapludults Lampung. *J. Litbang*, 12(1), 69-74.
- Nurida, N.L. 2015. Potensi Pemanfaatan Biochar untuk Rehabilitasi Lahan Kering di Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Lahan Edisi Khusus*: 57-68.
- Pattimahu, D.V. 2004. Restorasi Lahan Kritis Pasca Tambang Sesuai Kaidah Ekologi. Makalah Mata Kuliah Falsafah Sains. Sekolas Pasca Sarjana. IPB. Bogor.
- Pguo, S., J.K. Whalen., B.W. Thomas dan V. Sachdeva. 2015. Physico- chemical Properties and Microbial Responses in Biochar-amended soils: Mechanisms and Future Directions. *J. Agriculture, Ecosystems and Environment* 206: 46–59.
- Pratiwi, E. P. A., dan Y. Shinogi. 2016. Rice husk biochar application to paddy soil and its effects on soil physical properties, plant growth, and methane emission. *Paddy Water Environ* (2016) 14:521–532
- Pusat Penelitian dan Pengembangan (Puslitbang) Teknologi Mineral dan Batubara. Departemen ESDM. 2006. Batubara Indonesia. Departemen ESDM. Jakarta.
- Rondon, M. A., J. Lehmann., J. Ramirez dan M. Hurtado. 2007. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with biochar additions. *Biology and Fertility of Soils* 43: 699-708.
- Salawati., B. Muhammad., K. Indrianto dan T. Rahim. 2016. Potensi biochar sekam padi terhadap perubahan pH, KTK, C-organik dan P tersedia pada tanah. *J. Agroland* 23 (2): 101-109.
- Solaiman, Z.M dan H.M. Anawar. 2015. Aplication of Biochars for Soil Constraints: Challenges and Solution. *Pedosphere*, 25(5): 631-638.
- Steiner, C., W.G. Teixeira., J., Lehmann., T. Nehls., J.L.V. de Macedo., W. E. H. Blum., dan W. Zech. 2007. Long effect of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on highly weathered central amazonian upland soil *Plant and Soil* 291: 275-290

- Steiner, C. 2007. Soil charcoal amendments maintain soil fertility and establish carbon sink-researchand prospects. *Soil Ecology ResDev.* 6 hal. 7-9.
- Steiner, C., W.G., J. Teixeira., T. Lehmann., J.L.V. Nehls., W.E.H. de Macêdo., W. Blum., Zech. 2007. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant soil* 291: 275-290.