




Aplicación de los principios de la agricultura regenerativa para aumentar los niveles de nutrientes en el suelo y enfrentar una emergencia de seguridad alimentaria y nutricional local en Guanacaste, Costa Rica.

Application of the principles of regenerative agriculture to increase levels of nutrients in the soil and face an emergency of local food and nutritional security in Guanacaste, Costa Rica.

Félix M. Cañet-Prades 1 - , Juan Sio Guie 1, Javier D. Rodríguez 2, Eduard Müller Castro 1 - , Olivier Chassot 1 - , Alejandro Arango Berrocal 3



(1) Universidad para la Cooperación Internacional, Avenida 15, calle 35, Barrio Escalante, San José 10101, Costa Rica.

(2) Biofutura C Market, Plaza Vía San Pablo, San Pablo, Heredia, Costa Rica.

(3) Huertas Donde Sea, Anonos, Escazú, San José, Costa Rica.

*Autor de correspondencia: Félix M. Cañet [fcanet@uci.ac.cr].

Cómo citar este artículo:

CAÑET-PRADES, Felix, GUIE-WONG, Juan Sio, RODRÍGUEZ, Javier D., MULLER-CASTRO, Eduard, CHASSOT Olivier, ARANGO-BERROCAL Alejandro. (2022). Aplicación de los principios de la agricultura regenerativa para aumentar los niveles de nutrientes en el suelo y enfrentar una emergencia de seguridad alimentaria y nutricional local en Guanacaste, Costa Rica. *Regeneratio* 1(2), 17-28. DOI:10.55924/ucireg.v1i2.12

Resumen - La agricultura regenerativa mejora la salud del suelo, incrementa la biodiversidad, y devuelve el carbono, al mismo tiempo que recicla los nutrientes, incrementa los rendimientos, y mejora la salud y la vitalidad de las comunidades rurales bajo la visión de suelos y alimentos saludables. Reportamos los resultados de una investigación exploratoria enfocada en el establecimiento de un sistema emergente de producción de alimentos que combinó la aplicación de los principios de la agricultura regenerativa y de soluciones basadas en la naturaleza, incluyendo la aplicación de altas dosis de compost (100 t / ha) y una capa de hierba seca ("mulch" o acolchado vegetal) a razón de 2-3 kg/m² combinados con el policultivo en una cama alta de suelo, de diferentes especies y variedades de vegetales, con la aplicación del manejo integrado de cultivo y el riego por goteo. Los ensayos se realizaron en Tempate, Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica, en un suelo franco arcilloso. Se incrementó el contenido de carbono en el suelo de 1,65 a 4,05% y 3,70% (m/m) a los 6 y 12 meses posteriores, con un promedio de 2,26% (m/m), valores superiores a los encontrados en el bosque de galería cercano. Esto indica la factibilidad de incrementar la capacidad de secuestro de C en huertas regenerativas a niveles equivalentes a 58,9 t C/ha/año acompañado por un aumento del contenido de nitrógeno en el suelo de 0,14% a 0,32% y 0,37% (m/m), con los valores de la relación C/N similares a los del bosque de galería cercano, sin cambios significativos del pH. Fueron particularmente importantes los incrementos en los niveles de fósforo asimilable que ascendieron de 1,67 mg/L de suelo al inicio de los experimentos a valores que fluctuaron de 64,67 mg/L de suelo (6 meses) a 73,33 mg/L de suelo (12 meses), mientras que las concentraciones de potasio subieron de 0,14 cmol(+)/L a 1,21 cmol/L de suelo (6 meses) y 0,61 cmol(+)/L de suelo (12 meses), en correspondencia con los menores valores de las relaciones calcio/potasio, magnesio/potasio y (calcio+magnesio)/potasio. Esto demuestra el inicio de un importante proceso de regeneración de los suelos asociado al cultivo de más de treinta especies. Se generaron rendimientos potenciales estimados de 94 t/ha, con el consiguiente mejoramiento de la seguridad alimentaria y nutricional, así como de los medios de vida de los beneficiarios.

Palabras clave: agricultura regenerativa; policultivo, agricultura orgánica; compost; carbono; nitrógeno; potasio; fósforo; rendimiento

Abstract - Regenerative agriculture improves soil health, increases biodiversity, and returns carbon while recycling nutrients, increasing yields, and improving the health and vitality of rural communities under the vision of healthy soils and healthy food. We report the results of an exploratory research focused on the establishment of an emerging food production system that combined the application of regenerative agriculture principles and nature-based solutions, including the application of high doses of compost (100 t/ha) and a layer of mulch (2-3 kg/m³) combined with polyculture in a high bed of soil, of different species and varieties of vegetables, with the application of integrated crop management and drip irrigation. The trials were carried out in clay loam soils in Tempate, Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica. The carbon content in the soil increased from 1.65% to 4,05% and 3,70% (m/m) at 6 and 12 months, with an average of 2,26% (m/m), value superior to those found in a nearby forest gallery. This indicates the feasibility of increasing the storage capacity of C in ecological gardens to levels equivalent to 58,9 t C/ha/year, accompanied by an increase in the nitrogen content in the soil from 0.14 to 0.32 and 0,37% (m/m), with values of the C/N relation like nearby forest gallery, without significative change in pH. The increases in assimilable phosphorus levels, which rose from 1.67 to 95 mg/L of soil at the beginning of the experiment to values that fluctuated from 64,67 mg/L of soil (6 months) to 73,33% mg/L of soil (12 months), were particularly significant. Potassium levels in the soil increased from 0.14 cmol(+)/L to 1.21 cmol/L (6 months) and 0.61 cmol(+)/L (12 months), in correspondence with higher values of the ratios calcium/potassium, magnesium/potassium and (calcium+magnesium)/potassium. This indicates the beginning of an important soil regeneration process associated with cultivating more than thirty species. It generated estimated potential yields of 94 t/ha, with the consequent improvement of food and nutritional security, as well as the livelihoods of the beneficiaries.

Keywords: regenerative agriculture; polyculture, organic agriculture; compost; carbon; nitrogen; potassium; phosphorus; yield.

Introducción

Un sistema alimentario abarca todos los actores y las relaciones que se establecen entre ellos, todos los recursos, actividades y procesos relacionados con la producción, elaboración, distribución, preparación y el consumo de alimentos, así como sus impactos sociales, económicos y ambientales; mientras que un sistema alimentario sostenible es aquel que garantiza de manera integral la seguridad alimentaria y la nutrición para todos, sin comprometer las bases económicas, sociales y ambientales para las futuras generaciones, ya que las dietas humanas vinculan de manera inextricable la salud y la regeneración ambiental (Intini et al., 2019).

La agricultura actual ejerce una gran presión sobre la biodiversidad, los suelos, el agua y el clima; estas tensiones se exacerbarán si continúan las tendencias actuales en el crecimiento de la población, el consumo de carne, productos degenerativos, energía y el desperdicio de alimentos (Willet et al., 2019; UNEP, 2021).

Por lo tanto, se necesitan con urgencia sistemas agrícolas que sean altamente productivos y minimicen los daños ambientales (Campbell et al., 2017; Jørgensen et al., 2018; Willet et al., 2019). Además, estas alteraciones son impulsoras de la creciente emergencia de zoonosis como la COVID-19 entre otras, que están muy relacionadas con la pérdida de biodiversidad y la salud de los ecosistemas (Lawler et al., 2021), lo que agranda el desafío para lograr la Agenda 2030 de desarrollo sostenible (ONU, 2021).

La escala y complejidad del desafío de garantizar la alimentación a una población mundial en crecimiento,

requiere un enfoque sistémico, holístico y disruptivo, con un pensamiento sistémico que hasta ahora ha hecho falta, por lo que es necesario re-pensar y rediseñar los procedimientos de gestión de los sistemas alimentarios (Duncan et al., 2021), invertir el rumbo de la agricultura global, cambiando los métodos degenerativos de producción de alimentos que hemos estado utilizando a nuevos procedimientos basados en enfoques regenerativos que permitan rebotar e ir más allá de la sostenibilidad, regenerando un espacio operativo seguro para la presente y futuras generaciones.

Dentro de estos procedimientos, se encuentra la agricultura regenerativa, una aplicación de un enfoque de sistemas en la actividad agropecuaria que mejora la salud del suelo incrementando su biodiversidad, devolviendo el carbono al suelo, al mismo tiempo que recicla los nutrientes, incrementa los rendimientos, la resistencia a la inestabilidad climática, la salud y la vitalidad de las comunidades agrícolas y ganaderas bajo la visión de suelos más saludables, alimentos más saludables y un planeta más saludable, integrada en los ejes de la salud del suelo, el bienestar de los animales, y la equidad social (Rhodes, 2017; Moyer et al., 2020).



Foto: Jonathan Yonkers

En este trabajo se resumen los resultados de una investigación exploratoria enfocada en el establecimiento de un sistema emergente de producción de alimentos que combinó la agricultura regenerativa (Rhodes, 2017; Moyer et al., 2020; Simelton et al., 2021; Iseman & Miralles-Wilhelm, 2021; Erisman et al., 2017) tomando como referencia la experiencia cubana del Programa Nacional de Agricultura Urbana, Suburbana y Familiar (AUSF), un sistema eco-agroalimentario diseñado a finales de la década de 1980 para mitigar los impactos que tuvieron la desaparición de los principales socios comerciales del país, el inicio de la falta de respuestas productivas de determinados sistemas agrícolas a la aplicación de insumos externos de la Revolución Verde, y el recrudescimiento de las relaciones entre Cuba y los EE.UU, sobre la seguridad alimentaria del país (FAO, 2003; Rodríguez et al., 2011).

Materiales y métodos

El experimento se realizó en la huerta Tierra Mágica, Tempate, Guanacaste, Costa Rica, y tuvo como objetivo implementar de forma acelerada y con la participación activa de la comunidad, un conjunto de prácticas de agricultura regenerativa y soluciones basadas en la naturaleza (SbN) para apoyar a un grupo de quince familias, que ante la emergencia de la COVID-19, tuvieron limitaciones en sus fuentes de empleo y medios de vida en un grado tal que requirieron de donaciones equivalentes a USD 300/mes durante cuatro meses, para satisfacer sus necesidades básicas en materia de seguridad alimentaria y nutricional.

En este ensayo la preparación del suelo se realizó empleando los principios del laboreo mínimo con motocultivador de bajo peso para evitar las perturbaciones a la estructura del suelo. A continuación, se conformaron camas de cultivo de 30 cm de altura por 1,20 m de ancho

y una separación de 30 cm, con un largo de 15 a 20 cm o más, siguiendo las curvas de nivel y perpendiculares a la máxima pendiente del terreno. A estas, se les aplicó 10 kg de compost/m², como fuente de nutrientes y portador de 106 unidades formadoras de colonia de bacteria (UFC/g), lo que se complementó con microorganismos eficientes (2,5 L/ha). Para el control preventivo de insectos que se alimentan de las raíces de las plantas, las camas se asperjaron con *Beauveria bassiana* (106 UFC/m²) o *Metarrhizium anisopliae* var. *Anisopliae* (106 UFC/m²), y para la prevención de enfermedades causadas por hongos del suelo se aplicó *Trichoderma asperellum* a una dosis de 106 UFC/m².

Posteriormente, las camas se cubrieron con un capa de hierba ("mulch", acolchado vegetal) húmeda o seca a razón de 2-3 kg/m² para minimizar las pérdidas por evaporación, controlar y suprimir las plantas indeseables, y para incrementar la resiliencia a la inestabilidad climática e impacto directo de las fuertes lluvias. Se estableció un sistema de riego localizado por goteo de alta frecuencia.

Una vez preparadas las camas altas, se sembraron o plantaron diferentes especies y variedades de plantas comestibles, medicinales y ornamentales

En un sistema de policultivo que combinaba hábitos de crecimiento, requerimientos nutricionales, porte y alturas, tiempo desde la siembra hasta la cosecha, capacidad de resistencia natural a plagas y otros indicadores de cultivos (Rodríguez et al., 2011). La protección contra plagas y enfermedades se realizó con la aplicación de bioplaguicidas a base de *Beauveria bassiana* y *B. brogniartii*, *Metarrhizium anisopliae* var. *Anisopliae*, *Isaria fumosorosea*, *Bacillus subtilis*,

B. thuriensis var *israelensis*, *Lecanicillium* sp, *Paecilomyces lilacinu* y *Streptomyces griseoviridis*.

Antes de iniciar las intervenciones, se tomaron tres muestras de suelos a 0-30 cm de profundidad en el sitio (T=0), así como a los 6 y 12 meses posteriores, las que fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos del Centro de Investigaciones Agrícolas de la Universidad de Costa Rica. Los indicadores evaluados fueron pH y conductividad eléctrica (CE), acidez, contenido de carbono, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, zinc, hierro, manganeso y cobre, según la metodología propuesta por Méndez & Bertsch (2012).

se compararon con una línea de base conformada por los valores de los análisis de suelos realizados en un bosque de galería cercano en el que no se había realizado intervención y los reportados en el Mapa Digital de Suelos de Costa Rica (CIA-UCR, 2022).

Resultados

Se encontró que al iniciar las intervenciones de agricultura regenerativa, los tenores de carbono se encontraban en un nivel medio; mientras que a los 6 y 12 meses siguientes hubo el 1,75% y el 2,05% para un promedio de 1,90%, lo que es equivalente a 52 t C/ha/año, indicador del inicio de un proceso de captura



Foto: Jonathan Yonkers

Las diferencias entre las medias de los tres valores obtenidos de cada indicador fueron determinadas realizando el análisis de varianza según modelo de clasificación simple de Duncan (1955) para $p < 0,05$.

Con el objetivo de conocer las variaciones en los niveles de elementos mayores y micro-elementos en el suelo asociadas a la adopción de los principios de la Agricultura Regenerativa, los resultados de los análisis

de carbono. Esto estuvo acompañado por un aumento del contenido de nitrógeno total (Cuadro 1). Estos resultados corresponden con los de Sardiana (2021) en Indonesia, quien reportó la posibilidad de incrementar la capacidad de secuestro de C en huertas orgánicas.

Se encontró que la relación C/N en el suelo - indicador de su potencial para transformar la materia orgánica en nitrógeno mineral - presentó un valor de 11,79 antes de la aplicación de las prácticas de agricultura regenerativa, lo que estuvo asociado a una concentración de nitrógeno inferior a nivel crítico, mientras que en los tratamientos de agricultura regenerativa hubo un incremento de los niveles de C y de N, con una disminución de los valores de la relación C/N que se mantuvieron en el rango óptimo de 8,5 y 11,5, ya que tenores menores producen pérdidas por lixiviación del nitrógeno y mientras los altos causan deficiencias (poca disponibilidad) en correspondencia con lo reportado por Soto-Mora et al. (2016) sin cambios significativos en los valores de pH.

Este resultado es prometedor porque se ha prestado poca atención al potencial de captura de carbono por las plantas hortícolas, por lo que se debe trabajar en el futuro considerando el corto ciclo de vida y rápida tasa de acumulación de biomasa (Malhotra, 2017).

Al evaluar las variaciones en los parámetros relacionados con la capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE) y las bases (Cuadro 2), se encontró que los procedimientos de agricultura regenerativa empleados permitieron aumentar los niveles de potasio en el suelo de 0,14 cmol(+)/L al inicio de las intervenciones a valores de 1,21 cmol/L y 0,61 cmol(+)/L a los 6 y 12 meses posteriores de iniciadas las intervenciones respectivamente, lo que estuvo asociado con el incremento de carbono en el suelo (Cuadro 1).

Se comprobó que incrementos en los niveles de K (Cuadro 2), permitieron la restauración de las

relaciones catiónica Ca/K, Mg/(Ca+Mg)/K, a pesar de presentarse altos niveles de calcio, magnesio, suma de bases (Ca+Mg+K+Al) y CICE. Es importante destacar que la CICE, indicador que hace referencia a la cantidad de cationes que pueden ser retenidos por un suelo dado un determinado pH, pueden ser intercambiados por otros contenidos en la solución del suelo.

Con relación al contenido de fósforo asimilable, se encontró que con la implementación de las prácticas de la agricultura regenerativa se incrementaron las disponibilidades de este elemento (Figura 1), lo que indica que se regeneraron las condiciones que favorecen la movilidad de este elemento en condiciones de altos niveles de Ca y Mg, lo que resalta la relación estrecha entre la movilidad de este elemento y el contenido de carbono en el suelo.

Las variaciones en los niveles de microelementos en el suelo asociadas a la adopción de los principios de la agricultura regenerativa, indicaron una regeneración progresiva de los contenidos de zinc y manganeso que pasaron de los niveles críticos a normales, mientras que las concentraciones de hierro y cobre se mantuvieron en los umbrales de la normalidad (Cuadro 3).

Evaluación del impacto de los resultados en el mejoramiento de la salud y los medios de la vida los beneficiarios

La información obtenida sobre hábitos alimentarios de los beneficiarios del proyecto - durante el proceso de sensibilización y capacitación - indicó que además de la crisis en la seguridad alimentaria y nutricional, la dieta de la población adquirida fundamentalmente en los mercados locales, estaba basada en la preferencia de productos cárnicos, raíces y tubérculos, arroz y frijoles,

y muy pocas frutas y hortalizas frescas, debido al alto costo y al desconocimiento de los beneficios de la ingestión de una dieta saludable, y rica en estos últimos productos para su salud.



Foto: Jonathan Yonkers

Como resultado de esta experiencia, la implementación de prácticas regenerativas permitió obtener una producción de vegetales frescos de 47 toneladas en 0,5 ha, para un rendimiento equivalente a 94 t/ha/año, lo que permitió poner a disposición de los beneficiarios del proyecto un amplio espectro de alimentos con alta densidad de micronutrientes como vitaminas y minerales, que además aportan fibra. Entre estos, se encuentran más de 32 especies de vegetales de hoja (albahaca, apio, arúgula, brócoli, cebolla, culantro, kale, lechuga y pak choi), de raíz (rábano, yuca y zanahoria), de frutas (banano, chile, melón, papaya, pepino, plátano, tomate, sandía) y granos (frijol y maíz en grano y en elote).

Independientemente de determinados momentos, aproximadamente el 20% de la producción fue destinada a la alimentación animal o al composteo, debido a las restricciones de movilidad asociadas a la situación generada por COVID-19, la falta de hábitos de consumo de estos alimentos, así como problemas organizativos a nivel interno de la comunidad, la falta del sentido de pertenencia y deficiencias en el procesamiento, la logística de distribución y la comercialización, elementos que deben mejorarse en las próximas etapas de los proyectos.

Esto demuestra que el proyecto pudo generar una abundancia de alimentos diversos y saludables que superaron las demandas nutricionales. Por ejemplo, en las 30 familias involucradas en la huerta de Tempate, constituyendo unas 150 personas con la disponibilidad de consumo diario de los 400g de frutas y hortalizas recomendadas por la FAO (2021), siendo importante destacar que muchos de los beneficiarios consumieron por primera vez en su vida plantas como arúgula, albahaca, kale, acelga, mostaza y pak choi, plantas con alta densidad de nutrientes y que combinadas con el resto de los cultivos mencionados anteriormente, constituyen la base para la transición hacia dietas más sostenibles y saludables recomendadas por la Organización Mundial de la Salud (FAO, 2021).

A los beneficios anteriores, se adiciona la elevación de la autoestima en los tiempos de crisis al producir sus propios alimentos libres de agrotóxicos, y la generación de una fuente de empleo de alta rentabilidad.



Foto: Jonathan Yonkers

Conclusiones

La intervención en el huerto regenerativo de Tempate permitió incrementar el contenido de carbono en el suelo de 1,65% a 3,40%. Fue acompañado de un aumento del contenido de nitrógeno en el suelo de 0,14% a 0,32%; y un mejoramiento del pH de 5,95 a 7,06, lo que permitió que el contenido de potasio aumentase de 0,14 a 1,21 mg/L. Fueron particularmente importantes los incrementos en los niveles de fósforo que ascendieron de 1,67 a 95 mg/L de suelo; así como los de potasio en el suelo que pasaron de 0,14 cmol(+)/L al inicio de las intervenciones, a valores de 1,21 cmol/L y 0,61 cmol(+)/L, a los 6 y 12 meses, en correspondencia con menores valores de las relaciones calcio/potasio, magnesio/potasio y (calcio + magnesio)/potasio.

Lo anterior demuestra el inicio de un importante proceso de regeneración de los suelos que estuvo acompañado con un mejoramiento de la biodiversidad, por encima y por debajo del suelo, asociado al cultivo de más de treinta especies pertenecientes a quince familias botánicas, lo que permitió la obtención de rendimientos potenciales estimados de 94 t/ha, con el consiguiente mejoramiento de la seguridad alimentaria y nutricional, así como de los medios de vida de las personas beneficiarias.

Referencias

- Campbell, B.M., Beare, D.J., Benett, E.M., Hall-Spencer, J.M., Ingram, J.S., Jaramillo, F., Ortiz, R., Ramankutty, N., Sayer J.A., & Shindell, D. (2017). Agriculture production as a major driver of the Earth system exceeding planetary boundaries. *Ecology and Society* 22(4):8. doi:10.5751/ES-09595-220408
- Centro de Investigaciones Agronómicas - Universidad de Costa Rica (CIA-UCR). (2013). Mapa digital de suelos de Costa Rica. http://www.cia.ucr.ac.cr/?page_id=139
- Duncan, D.B. (1955). Multiple Range and Multiple F Tests. *Biometrics* 11(1), 1-42, doi:10.2307/3001478.
- Duncan, J., Carolan, M., & Wiskerke, J.S.C. (Eds.). (2020). *Routledge Handbook of Sustainable and Regenerative Food Systems*. London, UK: Routledge.
- FAO-INIFAT. (2004). Manual sobre agricultura orgánica sostenible. <http://santic.rds.hn/wp-content/uploads/2013/06/Manual-de-Agricultura-Organica-Sostenible.pdf>
- Erisman, J.W., van Eekeren, N., van Doorn, A., Geertsema, W., & Polman, N. (2017). *Measures for Nature-based agriculture*. Wageningen, The Netherlands: Louis Bolk Institute & Wageningen University & Research.
- Intini, J., Jacq, E., & Torres, D. (2019). Transformar los sistemas alimentarios para alcanzar los ODS. 2030 - Alimentación, agricultura y desarrollo rural en América Latina y el Caribe, No. 12. Santiago de Chile: FAO.
- Iseman, T., & Miralles-Wilhelm, F. (2021). Nature-based solutions in agriculture – The case and pathway for adoption. Rome, Italy: FAO & The Nature Conservancy. doi:10.4060/cb3141en
- Jørgensen, P.S., Aktipis, C.A., Brown, Z., Carriere, Y., Downes, S.J., Dunn, R., Epstein, G., Frisvold, G., Hawthorne, D., Gujar, G., Jasovsky, D., Klein, E.Y., Klein, F., Lhermie, G., Mota-Sánchez, D., Omoto, C., Schlüter, M., Scott, H.M., Wernli, D., & Carroll, S.P. (2018). Antibiotic and pesticide susceptibility and the Anthropocene operating space. *Nature Sustainability* 1(11), 632-641. doi:10.1038/s41893-018-0164-3
- Lawler, O.K., Allan, H.L., Baxter, P.W.J., Castagnino, R., Corella Tor, M., Dann, L.E., Hungerford, J., Karmacharya, D., Lloyd, T.J., López-Jara, M.J., Massie, G.N., Novera, J., Rogers, A.M., & Kark, S. (2021). The COVID-19 pandemic is intricately linked to biodiversity loss and ecosystem health. *The Lancet – Planetary Health* 5(11), E840-E850. doi:10.1016/S2542-5196(21)00258-8
- Malhotra, K. (2017). Horticultural crops and climate change: A review. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 87(1), 12-22.
- Méndez, J.C. & Bertsch, F. (2012). Guía para la interpretación de la fertilidad de los suelos de Costa Rica. San José, Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- Moyer, J., Smith, A., Rui, Y. & Hayden, J. (2020). *Regenerative organic agriculture and the soil carbon solution*. Kutztown, PA, USA: Rodale Institute.
- ONU. (2021). El COVID-19 agranda el desafío para lograr la Agenda 2030 de desarrollo sostenible. <https://www.un.org/es/desa/sdg-report-2021>.
- Rajan, K., Raja, P., Dinesh, D., Kumar, S., Bhatt, B.P., Surendran, U., Karan, D., & Bhaskar, B.P. (2021). Quantifying carbon sequestration potential of soils in an agro-ecological region scale. *Current Science* 120(8), 1334-1341
- Rhodes, C. (2017). The imperative for regenerative agriculture. *Science Progress* 1(100), 80-129. doi:10.3184/003685017X14876775256165
- Rodríguez, A., Companioni, N., Fresneda, J., Estrada, J., Cañet, F.M., et al. (2011). Manual técnico para organopónicos, huertos intensivos y organoponía semiprotegida. La Habana, Cuba: INIFAT.
- Sardiana, I.K. (2021). Organic vegetable farming system enhancing soil carbon sequestration in Bali, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth Environmental Science* 724, 012025. doi:10.1088/1755-1315/724/1/012025
- Simelton, E., Carew-Reid, J., Coulier, M., Damen, B., Howell, J., Pottinger-Glass, C., Viet Tran, H., & van der Meiren, M. (2021). NBS Framework for Agricultural Landscapes. *Frontiers in Environmental Science*. doi:10.3389/fenvs.2021.678367
- Soto-Mora, E.S., Hernández-Vázquez, M., Luna-Zendejas, H.S., Ortiz-Ortiz, E., & García-Gallegos, E. (2016). Evaluación del contenido de materia orgánica en suelos agrícolas y su relación carbono/nitrógeno. *Revista Iberoamericana de Ciencias* 3(5), 98-102.
- United Nations Environment Programme. (2021). *The Role of Business Transforming Food Systems*. Nairobi: UNEP.
- Willet, W., Rockstrom, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., Garnett, T., Tilman, D., DeClerck, F., Wood, A., Jonell, A., Clark, M., Gordon, L.J., Fanzo, J., Hawkes, C., Zurayk, R., Rivera, J.A., de Vries, W., Sibanda, L.M., Afshin, A., Chaudhary, A., Herrero, M., Agustina, R., Branca, F., Lartey, A., Fan, S., Crona, B., Fox, E., Bignet, V., Troell, M., Lindahl, T., Singh, S., Cornell, S.E., Reddy, K.S., Narain, S., Nishtar, S., & Murray, C.J.L. (2019). Food in the Anthropocene: the EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet Commissions* 393(10170), 447-492. doi:10.1016/S0140-6736(18)31788-4

Adjuntos

Cuadro 1. Variaciones en el contenido de carbono, nitrógeno y la relación carbono/nitrógeno en el suelo asociadas a la adaptación de los principios de la Agricultura Regenerativa en Tempate, Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica

INDICADOR	UNIDAD	CATEGORÍAS Y NIVELES			LÍNEA DE BASE		TIEMPO DE MONITOREO (MESES)		
		CRÍTICO	MEDIO	ALTO	MAPA DE SUELOS DE CR	BOSQUE DE GALERÍA	AGRICULTURA CONVENCIONAL 0	AGRICULTURA REGENERATIVA 6	AGRICULTURA REGENERATIVA 12
C	%(M/M)	<1,4	1,4 A 2,10	>2,10	1,90	3,32	1,65 ^a	4,05 ^b	3,55 ^c
N	%(M/M)	<0,2	0,2 A 0,5	>0,5	ND	0,32	0,14 ^a	0,32 ^b	0,37 ^b
RELACIÓN C/N	%	<8,5	8,5 Y 11,5	>11,5	ND	9,94	11,79 ^a	10,62 ^b	10,08 ^c
PH EN H2O	UNIDADES DE PH	<5,5	5,6 - 6,5	>6,5	6,4	7	5,95	7,06	7,05 NS

Cuadro 2. Variaciones de la capacidad de intercambio catiónico y el contenido de bases del suelo* asociadas a la adopción de los principios de la Agricultura Regenerativa en Tempate, Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica

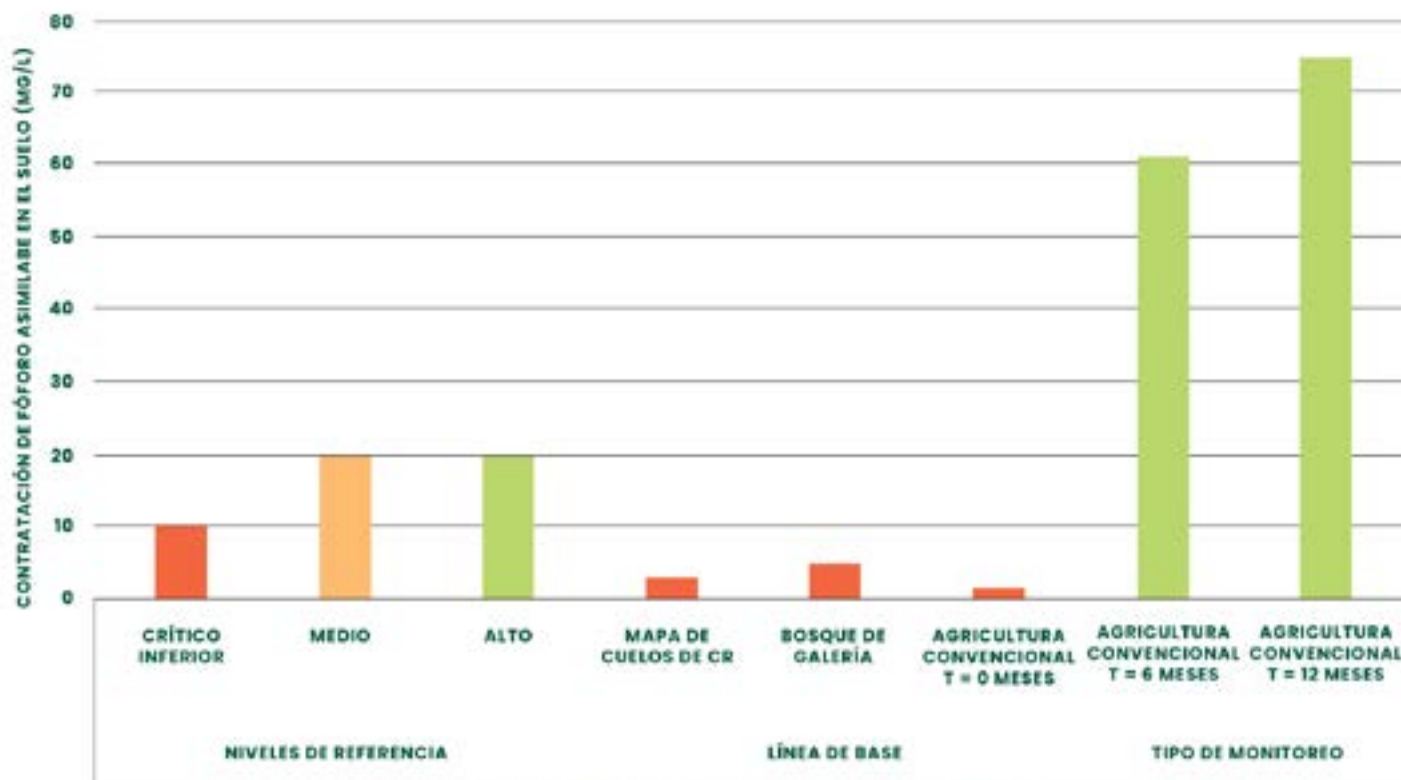
INDICADOR	UNIDAD	CATEGORÍAS Y NIVELES			LÍNEA DE BASE		TIEMPO (T) DE MONITOREO (MESES)		
		CRÍTICO	MEDIO	ALTO	MAPA DE SUELOS DE CR	BOSQUE DE GALERÍA	AGRICULTURA CONVENCIONAL T=0	AGRICULTURA REGENERATIVA T=6	AGRICULTURA REGENERATIVA T=12
ACIDEZ (AL)	cmol(+)/L	<0,5	0,5 A 1,5	>1,5*	0,14	0,11	0,10	0,09	0,11 NS
Ca	cmol(+)/L	<4*	4 A 20	1,5**	18,89	19,62	0,14 ^a	0,32 ^b	21,01 ^b
Mg	cmol(+)/L	<1*	1 A 5	>5	6,22	12,69	11,79 ^a	20,73 ^b	8,43 NS
K	cmol(+)/L	<0,2	0,2 - 0,6	>0,6	0,29	0,26	5,95	8,01	0,60 ^c
Suma de bases	cmol(+)/L	<5*	5 A 25	>25	25,4	32,57	11,79 ^a	1,41 ^b	30,67 ^b
CICE	cmol(+)/L	<5*	5 A 25	>25	24,54	1,55	5,95	30,19 ^b	30,76 ^c
Ca/Mg	RELACIÓN	<2	2 A 5	>5*	3,04	75,46	11,79 ^a	2,59	2,49 NS
Ca/K	RELACIÓN	<5	5 A 25	>25*	65,14	75,46	5,95	17,23 ^b	36,84 ^b
Ca+Mg/K	RELACIÓN	<10	10 A 40	>40*	86,99	124,27	11,79 ^a	23,21 ^b	51,24 ^c
Mg/K	RELACIÓN	<2,5	2,5 A 15	>15	21,45	48,81	5,95	5,67 ^b	13,97 ^c

Categorías y niveles que pueden causar daño a ciertos cultivos fueron tomados de Méndez y Berstich (2012)

a, b, c: medidas con distintas letras difieren para p<0,05 (Duncan, 1955)

NS: no hay diferencias significativas entre las medidas

Figura 1. Variaciones en el contenido de fósforo asimilable en el suelo asociadas a la adopción de los principios de la Agricultura Regenerativa en Tempate, Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica



a, b.: medidas con distintas letras difieren para $p < 0.05$ (Duncan, 1955)

Cuadro 3. Variaciones en los niveles de microelementos en el suelo asociadas a la adopción de la Agricultura Regenerativa en Tempate, Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica

MICROELEMENTOS	UNIDAD	CATEGORÍAS Y NIVELES			LÍNEA DE BASE		TIEMPO (T) DE MONITOREO (MESES)		
		CRÍTICO INFERIOR	MEDIO	ALTO	MAPA DE SUELOS DE CR	BOSQUE DE GALERÍA	AGRICULTURA CONVENCIONAL T = 0	AGRICULTURA REGENERATIVA T = 6	AGRICULTURA REGENERATIVA T = 12
Zn	mg/l	<2*	2 A 10	>10	0,14	1,2	1,23	1,73	2,30 NS
Mn	mg/l	<5*	5 A 50	50	ND	6,47	5,66 ^a	3,33 ^a	7,25 ^c
Fe	mg/l	<10*	10 A 100	>100	40,00	13	46,67	35,00	44,33 NS
Cu	mg/l	<2*	2 A 20	>20	3	3	5,67 ^a	3,00 ^b	4,33 ^c

*Categorías y niveles que pueden causar daño a ciertos cultivos fueron tomados de Méndez y Bertsch (2012)
 a,b,c:medias con distintas letras difieren para $p < 0.05$ (Duncan, 1955)
 NS: diferencia no significativa