

## **Impacto científico-económico de un experimento de larga duración**

**Autor (s):** Ing. Yasmany García López, Ing. Miriam Bárbara Orozco Bravo.

(1) Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar. “Antonio Mesa Hernández”.  
Carretera central km, 156. Jovellanos, Matanzas

Correo: [yasmany.garcia@epicamt.azcuba.cu](mailto:yasmany.garcia@epicamt.azcuba.cu)

### **Resumen**

Experimentos de larga duración son fundamentales para el estudio de transformaciones en el suelo. Son fuente de conocimiento y permiten el desarrollo de competencias para profesionales y técnicos. Permiten realizar actividades de medición con calidad, así como el procesamiento estadístico e interpretación y exposición de resultados. Contribuyen a recomendaciones de manejos sostenibles para la fertilidad del suelo. Todo esto es la base del alto valor científico, social y económico que poseen estos experimentos. Llegar a expresarlo en términos económicos es fundamental para lograr su continuidad en el tiempo. Para ellos se adecuó la metodología del valor económico total empleada para estimar el valor de bienes y servicios ecosistémicos. Se determinó el valor que tienen las parcelas con el efecto acumulado de los diferentes manejos por 22 años de existencias, así como su base de datos de 3 840 análisis. Además de su contribución a la realización de tesis de grado y maestría.

**Palabras claves:** Experimento de larga duración, valor económico total.

### **Abstract**

Long-term Experiments are fundamental for the soil transformations study. They are source of knowledge and allow competitions' development for professionals and technicians. It allow make with quality mensuration's activities; as well as the statistical processing, interpretation and results' exhibition, also contributing to soil fertility sustainable handlings recommendations. All this, are the base of the great scientific, social and economic experiment value. For their continuity in the time, are need to express in economic value terms. It was adapted the methodology of the total economic value used to estimate the goods and ecosystem services value. It was determined the parcels value accumulated by the effect of different handlings for 22 years, as well as the value of its database of 3 840 analysis. Besides their contribution degree thesis and master realization.

**Key Word:** Long-term experiment, total economic value

## 1- Introducción

Las prácticas humanas han tenido impactos en los ecosistemas durante milenios y en muchos casos a través de actividades agrícolas; cuando tiene lugar la aplicación inapropiada, excesiva y prolongada de agroquímicos. (San *et al.*, 2013; Terry y Abó, 2013). Una gran parte de los problemas que no han sido suficientemente esclarecidos pueden ser solo resueltos usando experimentos de larga duración. (Körschens, 2006). Los cambios y transformaciones en las propiedades del suelo, solo son medibles a largo plazo. (Kibet *et al.*, 2016). Experimentos de larga duración proveen observaciones directas de cambios en el suelo y su funcionamiento. (Richter *et al.*, 2007). Los manejos que inducen cambios en las propiedades del suelo son a menudo lentos y solo son reconocidos después de largos periodos de tiempos. Estos experimentos proveen la única plataforma de investigación para estudios de sostenibilidad del recurso suelo. (Petersen *et al.*, 2008). Pueden revelar la importancia de efectos indirectos en los procesos ecosistémicos que no aparecen en cortos periodos de tiempo (Knapp *et al.*, 2012).

Los estudios que combinan manipulaciones experimentales con la colección de datos a largo plazo revelan de forma detallada las interacciones entre la estructura y dinámicas ecosistémicas. (Brown *et al.*, 2001). Experimentos de larga duración son diseñados para manipular factores controlados experimentalmente, muestreados, archivados y analizados estadísticamente con el objetivo de mejorar el entendimiento de los cambios naturales por largos períodos de tiempo; lo que es fundamental para las ciencias ambientales, los manejos y la educación. (Richter *et al.*, 2007; Knapp *et al.*, 2012). Saber qué sucede con el suelo es responsabilidad y necesidad, pues como plantea Körschens, (2006), se vive en el suelo y de lo que el suelo da.

Experimentos de larga duración son portadores de una riqueza de información necesaria para la obtención de conocimientos que permiten evaluar y predecir transformaciones en el suelo; base fundamental para recomendar medidas de adaptación y mitigación al cambio climático. El cambio del clima va más allá de los cambios graduales en las condiciones de la media. Involucra la variabilidad aumentada en los patrones climáticos y la frecuencia e intensidad de eventos extremos. (Kreyling y Beier, 2013). El valor de las observaciones en experimentos de larga duración nunca antes, ha sido más importante para evaluar teorías y para direccionar los difíciles desafíos ambientales de hoy en día. (Robertson *et al.*, 2012). Cualquier recomendación a partir de resultados rápidos obtenidos en cortos periodos de tiempo puede afectar las funciones del suelo, comprometer su sostenibilidad y afectar las capacidades para que las futuras generaciones satisfagan sus necesidades. Los

experimentos de larga duración son la forma de direccionar hacia donde mover los manejos del suelo de forma sostenible. Pues evalúan la relación de variables climáticas con las propiedades y funciones del suelo. Así como las mejores combinaciones de manejos que garanticen un rendimiento deseado sin afectar la fertilidad del suelo que sustenta la producción.

Los experimentos de larga duración crean bases de datos de resultados pasados que son interpretados en el futuro. Estas bases son generacionales y deben tener continuidad en el tiempo. Como expresa Lage, (2007) la ciencia siempre crea conocimientos a partir de conocimientos precedentes.

La igualdad debe trascender lo humano para reconocer en la naturaleza una vida que debe ser respetada, una interrelación necesaria entre la humanidad y ecosistemas. (Viale y Baldiviezo, 2013). Experimentos de larga duración son el puente entre lograr las productividades requeridas por la agricultura y la protección del ecosistema que sustenta las producciones.

Para dimensionar el valor de un experimento de larga duración se debe trascender la economía tradicional y buscar los bienes y servicios que no son comercializados por los precios del mercado, pero sus existencias tienen una alta relevancia.

## **2- Materiales y métodos**

En este trabajo se realizó un análisis de varianza ANOVA, para evaluar si existen diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos evaluados en el experimento de larga duración después de 22 años de existencia respecto a los contenidos de materia orgánica y se realizó un balance de carbono en las parcelas a suelo desnudo. Además del valor científico de los resultados, existe un valor económico que debe ser expresado y para ello se adecuó la metodología para valorar bienes y servicios ecosistémicos de áreas naturales.

### **2.1 Descripción del trabajo con el experimento evaluado**

El experimento se encuentra en áreas experimentales de la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar “Antonio Mesa Hernández” (EPICA), Jovellanos, Matanzas. En sus inicios perteneció al Proyecto Internacional de la FAO *Tropical Soil Biology and Fertility* (TSBF), se estableció en el año 1994 (figura 1) y se mantiene como un experimento de larga duración, hasta el momento es el único de su tipo en el país.



**Figura 1: Experimento TSBF. Matanzas**

Mediante este experimento se pueden monitorear las transformaciones del suelo ante diferentes manejos. El arreglo de las parcelas (3x3 m) responde a un diseño de bloque al azar y consiste en cuatro tratamientos con tres réplicas (figura 2) para un total de 12 parcelas. Cada parcela está aislada del medio circundante por medio de láminas de acero galvanizado enterradas a una profundidad de 0,60 m y sobrepasan la superficie del suelo a una altura de 0,20 m



**Figura 2: Diseño al azar con tres réplicas del experimento TSBF**

El tratamiento con caña de azúcar se asemeja al plantío con un grado de intervención de maquinarias de cero y todos los residuos de cosecha se depositan en la superficie del suelo. Estas parcelas están influenciadas por la acción antrópica y sufren una extracción anual de biomasa, pero reciben un subsidio de energía a través de fertilizantes inorgánicos, que deben mantener la fertilidad del suelo.

El tratamiento con vegetación natural, está representado por una de las gramíneas que más abundan, *Dichanthium sp*, del cual sobresalen las especies Pitilla (*Dichanthium annulatum*) y Jiribilla (*Dichanthium caricosum*). En este tratamiento se simula lo que ocurriría en condiciones de barbecho sin intervención de la ganadería.

En los tratamientos sin entrada de materia orgánica (tratamiento I y tratamiento II) se determina el efecto de la exposición a la intemperie prolongada sin una cobertura vegetal, además de una simulación del laboreo intensivo mediante alteraciones al suelo para el tratamiento II.

### **2.1.1 Determinación de materia orgánica (Método de Walkley-Black)**

La muestra es oxidada con dicromato de potasio 1N y ácido sulfúrico concentrado, añadiendo finalmente agua destilada, se mide la densidad óptica de la muestra en un espectrofotómetro después de filtrada.

Se empleó el factor 1.724 para expresar los resultados como materia orgánica, asumiendo que el 58 % de la materia orgánica del suelo es carbono orgánico (Jackson, 1970).

### **2.1.2 Análisis estadísticos**

El análisis de varianza de un factor se utiliza para contrasta la existencia de diferencias significativas entre medias cuando están presentes más de dos muestras. (Miller y Miller, 2002).

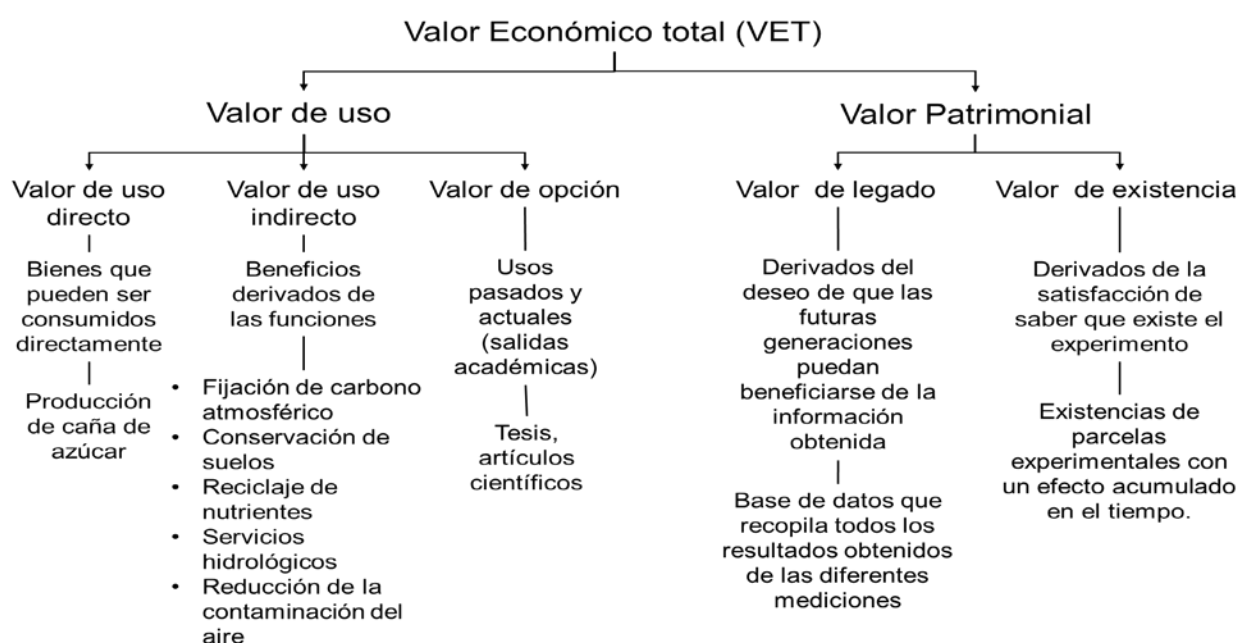
Para todos los casos en que el valor de la probabilidad sea inferior a 0,05 existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las variables, de un tratamiento a otro, para un nivel de confianza del 95 %. El Software utilizado fue *R Studio Versión 3.3.2*.

## **2.2 Estimación del valor económico total (VET)**

Las metodologías establecidas para valorar bienes y servicios ecosistémicos necesitan de un entendimiento de las estructuras, los procesos y funciones del ecosistema y por consecuente se puede desagregar en los diferentes valores de usos directos y de no usos. Similar a esto, cada experimento de larga duración tiene una estructura que se puede entender por diseño experimental y tiene procesos en los cuales se incluyen los manejos que se realizan. De las interacciones de estructuras y procesos se generan sus funciones; que metodológicamente se conocen como objetivos. La dimensión de cada valor está en función de los objetivos que se persiguen y de los resultados alcanzados. Es decir, si un determinado experimento de larga duración evalúa las extracciones del cultivo y contribuye a generar una dosis de fertilizantes para mantener la fertilidad del suelo; la dimensión de su valor de uso alcanza las áreas que impactan su resultado, que permite y/o contribuye a un manejo sostenible de la fertilización; pues se alcanza un rendimiento esperado con un uso racional de los fertilizantes. Para determinar el valor total del experimento, es necesario un análisis de los diferentes valores que conforman la utilidad práctica de su existencia.

Según Cordero *et al.*, (2008) El concepto de valor económico total (VET) es más amplio que la evaluación tradicional costo-beneficio y permite incluir tanto los bienes y servicios tradicionales (tangibles) como las funciones de los ecosistemas, además de los valores asociados de uso del recurso mismo. Conceptualmente, el VET de un recurso consiste en sus valores de uso más los valores de no uso.

En esta terminología el valor de uso se refiere a aquellos que son comercializables y tiene precio en el mercado. Mientras que los valores de no usos son aquellos intangibles pero fundamentales para la existencia del propio ecosistema. La adecuación de esta metodología a experimentos de larga duración implica mantener los valores de uso y cambiar la terminología de valor de no uso por valor patrimonial. En la figura 3 se exponen las categorías de valores económicos adecuados a un experimento de larga duración.

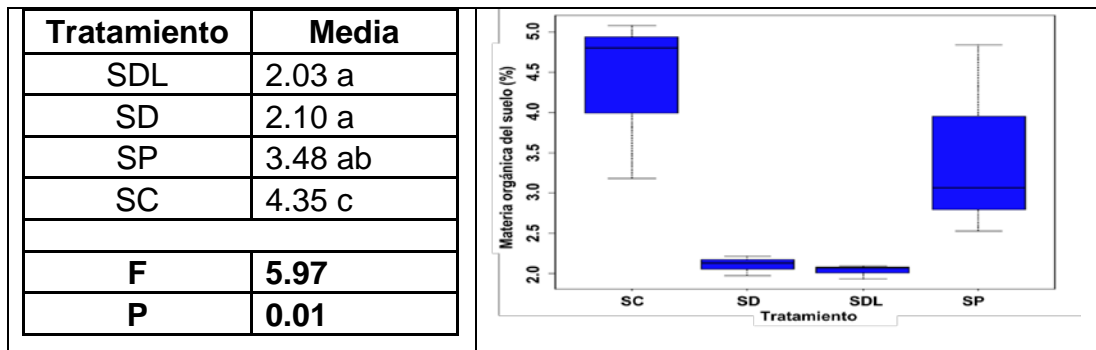


**Figura 3. Valor económico total de un experimento de larga duración (VET\_LD)**  
**Fuente: modificado de Cordero *et al.*, (2008)**

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1 Resultados de materia orgánica del suelo

Cuantificar el efecto en el tiempo de los diferentes manejos sobre el suelo es fundamental para enfrentar y mitigar su pérdida de fertilidad por prácticas inadecuadas. El efecto sobre la materia orgánica del suelo en las parcelas bajo diferentes tratamientos se evidencia en el siguiente ANOVA (figura 4).



**Figura 4. Análisis de varianza para los diferentes tratamientos después de 22 años**

El análisis mostró la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. El mayor impacto estuvo en los suelos desnudos que pierden alrededor de 2% de los contenidos de carbono. La ausencia de cobertura vegetal limita las reposiciones de materia orgánica, además de disminuir la protección contra la erosión y disminuye así, la capa fértil de los suelos desnudos.

### 3.2 Estimación del valor económico total del experimento

En el valor económico total del experimento se recogen los productos que se generan en él, así como el esfuerzo invertido en su mantenimiento.

#### 3.2.1 Valor de uso directo

En este tipo de valor se cuantifican aquellos ingresos que se pueden tener por el uso de bienes generados en el experimento, por ejemplo la venta de la caña de azúcar que generan las parcelas con este cultivo. En total pueden alcanzarse un total de 370 kg de tallos y a un precio de 0.20 centavos por tallos de caña para usos comerciales locales, se recaudan \$ 74.

#### 3.2.2 Valor de uso indirecto

En este experimento se generan modelos que permiten determinar el stock de carbono del suelo bajo el cultivo de la caña de azúcar y suelos con ausencia de cobertura vegetal. Esto contribuye a medidas de adaptación al cambio climático y recomendar además manejos sostenibles de tierra. Como media se estima que la cobertura vegetal supera en 1 % a los suelos desnudos esto en carbono sería 3 kgC/m<sup>2</sup> lo cual en el mercado internacional, posee un precio en los créditos de carbono de 6.5 dólares por t de carbono para un valor de \$ 12.64 CUP. Aquí solo se consideró el impacto dentro de las áreas del propio experimento. A criterio de los autores, este valor está subestimado y a partir de próximas valoraciones e implementación de recomendaciones generadas de la información del experimento se podrá reevaluar el mismo.

### 3.2.3 Valor de opción

Este experimento contribuye a la formación de competencias para la interpretación de resultados y confección de tesis. Hasta la fecha el experimento ha tributado a una tesis de grado, una de maestría; además de publicaciones de diversos artículos científicos. Si se considera que el salario básico de ingeniero bajo la categoría de especialista es \$ 415. Este valor se divide por 5 que son los años de estudio para asignar un valor a la contribución del experimento en el último año es \$ 83 a esto se le suma el valor \$ 80 que se reciben por el grado de master da un total \$163 como valor hasta la fecha de opción.

### 3.2.4 Valor de legado

En la base de datos de este experimento se recogen 3 840 análisis con las determinaciones que aparecen en la tabla I. Mediante estas mediciones se puede realizar el monitoreo de la propiedades del suelo (figura 5).

**Tabla I. Análisis realizados al experimento**

	<b>Cantidad</b>	<b>Precio (\$)</b>	<b>Total (\$)</b>
<b>Preparación</b>	552	5.47	3 019.44
<b>pH en H<sub>2</sub>O</b>	336	4.57	1 535.52
<b>pH en KCl</b>	360	4.62	1 663.2
<b>Materia orgánica</b>	480	12.93	6 206.4
<b>Nitrógeno Total</b>	24	25	600
<b>P Oniani</b>	288	11.54	3 323.52
<b>K Oniani</b>	288		
<b>Cationes (Ca, Mg, Na, K)</b>	144	23.65	3 405.6
<b>Fósforo total</b>	120	33.52	4 022.4
<b>P. B/k</b>	168	9.25	1554
<b>P. orgánico</b>	48	33.52	1 608.96
<b>Ach.</b>	192	10.66	2 046.72
<b>NO<sub>3</sub></b>	24	15.1	362.4
<b>NH<sub>4</sub></b>	24	9.76	234.24
<b>C. Microbiano</b>	360	5.99	2 156.4
<b>N. Microbiano</b>	360		
<b>S. Disponible</b>	96	19.78	1 898.88
<b>Total</b>	3 840	-----	33 637.68

Mantener un registro de los cambios en las propiedades del suelo, permite y permitirá evaluar para diferentes períodos de tiempo el impacto de las prácticas de manejo (Figura 5).



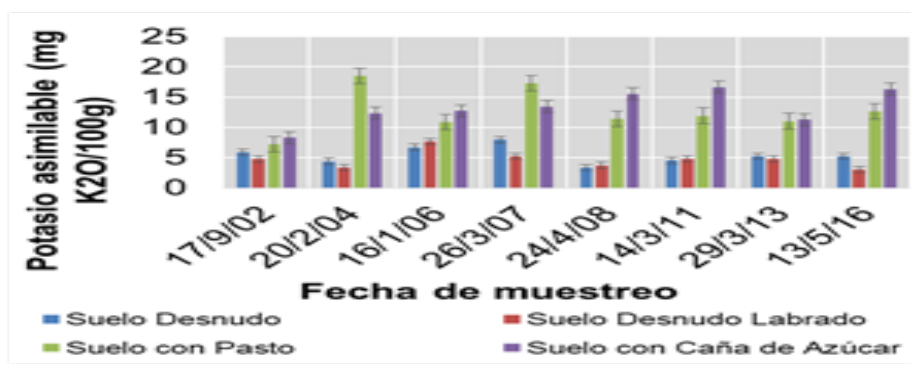


Figura 5. Dinámica del potasio asimilable para los diferentes tratamientos en el periodo de 2002 - 2016

### 3.2.5 Valor de existencia

Este valor se estima a partir del mantenimiento de este experimento en el tiempo de 22 años (Tabla II) para lo cual se consideró la necesidad de un profesional y un técnico.

Tabla II. Gasto en la conducción del experimento

Categoría	Profesional	Técnico
Salario Cargo	415.0	375.0
Salario anual	2 075.0	1 875.0
Estímulo mensual (Res 15) Anual	720.0	720.0
Pago por resultado 30%	622.5	562.5
Subtotal de salario	3 417.5	3 157.5
9,09 total	310.7	287.0
Total Salario	3 728.2	3 444.5
14% seguridad social	521.9	482.2
10% impuesto fuerza de trabajo	372.8	344.5
Otros Indirectos 10 %	207.5	187.5
Total Anual	4 830.41	4 458.70
Total	\$ 9 289.11	
Total (22 años)	\$ 204 360.37	

### 3.2.6 Valor económico Total del experimento de larga duración

Como resultado del VET\_LD se obtuvo un valor de \$ 234 378. 01

Tabla III. Valor económico total

	Término del valor	Valor (\$)
Valores de uso	VUD	74
	VUI	12.64
	VO	163
Valores patrimoniales	VE	204 360.37
	VL	33 637.68
	VET	238 247.69

El valor económico total del experimento de larga duración recoge el impacto del mismo. Es decir, se expresan en términos monetarios todas sus contribuciones en tres dimensiones. En lo científico con el descubrimiento de interacciones causa y efecto, así como su cuantificación y su consecuente generación de conocimiento; en lo social con la formación de competencias y en lo económico con la venta y utilidad de todos sus bienes y servicios.

## Conclusiones

- Las evaluaciones demostraron el impacto de un suelo desnudo sobre su materia orgánica.
- Los mayores valores económicos del experimento evaluado están en su valor patrimonial lo cual asciende a \$ 237 998.05.
- El valor económico total del experimento de larga duración evaluado es de \$ 238 247.69.
- Cada año transcurrido se incrementa el valor del experimento de larga duración evaluado en \$ 14 441.91.

## Bibliografías

- Brown, J.; Whitham, T.; Morgan, S.; Gehring, C., 2001. Complex Species Interactions and the Dynamics of Ecological Systems Long-term experiments. Science, New Series, [Online], 293 (5530). Pp. 643-650. Disponible en Internet: <http://www.jstor.org/stable/3084307>.
- Cordero D., Moreno-Díaz A., Kosmus M. 2008. Manual para el desarrollo de mecanismos de pago/compensación por servicios ambientales. Equipo Regional de Competencia y Programa GESOREN, Cooperación Técnica Alemana Agencia de GTZ en Quito. Av. Amazonas N39-234 y Gaspar de Villarroel Casilla 17-21-0914. Quito. Disponible en: [http://www.oas.org/DSD/PES/course2/documentos/Manual\\_PSA\\_GTZ.pdf](http://www.oas.org/DSD/PES/course2/documentos/Manual_PSA_GTZ.pdf)
- Jackson, M.L., 1970. Análisis químico de suelos. Traducido por Martínez, J.B. Edición Revolucionaria. Instituto del libro. La Habana. Cuba
- Kibet, L., Blanco-Canquia H, Jasab P. 2016. Long-term tillage impactson soil organic matter components and related properties on a Typic Argiudoll. Soil & Tillage Research 155, p. 78–84. ScienceDirect. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2015.05.006>

- Knapp, A.; Smith, M.; Hobbie, S.; Collins, S.; Fahey, T.; Hansen, G.; Landis, D.; La Pierre, K.; Melillo, J.; Seastedt, T.; Shaver G.; Webster, J., 2012. Past, Present, and Future Roles of Long-Term Experiments in the LTER Network. *BioScience*, [Online], 62 (4), pp. 377-389. Disponible en Internet:  
<http://bioscience.oxfordjournals.org/content/62/4/377.full>.
- Körschens, M., 2006. The importance of long-term field experiments for soil science and environmental research – a review. *PLANT SOIL ENVIRON* (Special Issue). [online], 52, pp. 1–8. Disponible en Internet:  
<http://dipsa.unibo.it/Ealt/english/files/importance.pdf>
- Kreyling J. y Beier C. 2013. Complexity in Climate Change Manipulation Experiments. *BioScience*, Vol. 63 No. 9, p 763-767. ISSN 1525-3244. Disponible en:  
<http://bioscience.oxfordjournals.org/content/63/9/763.full.pdf+html>
- Lage A. 2007. Conectando la ciencia con la economía: las palancas del socialismo. *Revista Cubana Socialista*, 3ra. Época, No. 45, La Habana, Cuba p. 2-26.
- Miller, N.J. y Miller, J.C., 2002. *Estadística y Quimiometría para Química Analítica*. Cuarta edición. Pearson Educación, S.A. Madrid. España.
- Petersen, J.; Mattsson, L.; Riley, H.; Salo, T.; Thorvaldsson G.; Christensen B., 2008. Long Continued Agricultural Soil Experiments: A Nordic Research Platform – An Overview. *DJ F PLANT SCIENCE*. [online], NO. 136. ISBN: 87-91949-30-0 Disponible en Internet: <http://pure.au.dk/portal/files/1377607/djfma136.pdf>
- Robertson, P.; Collins, S.; Foster, D.; Brokaw, N.; Ducklow, H.; Gragson, T.; Gries, C.; Hamilton, S.; McGuire, D.; Moore, J.; Stanley, E.; Waide, R.; Williams, M., 2012. Long-Term Ecological Research in a Human-Dominated World. *BioScience*, [online] Vol. 62 No. 4. ISSN 1525-3244. Disponible en Internet:  
<http://bioscience.oxfordjournals.org/content/62/4/342.full.pdf+html>
- Richter, D.; Callahan, M.; Powlson, D.; Smith, P., 2007. Long-Term Soil Experiments: Keys to Managing Earth's Rapidly Changing Ecosystems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, [online], 71, pp.266–279. Disponible en Internet:  
<https://nicholas.duke.edu/cgc/groups/Richter2007LTSEs.pdf>
- Terry C. y Abó M., 2012. Contaminación ambiental. En: Rubio T, 2013. *Producción y consumo sostenible. Imperativo de una estrategia de desarrollo económico*. Instituto cubano del libro (ed.). Científico-técnica. Calle 14 no.4104, entre 41 y 43, Playa, La Habana, Cuba., Capitulo 2. P 7-54. ISBN 978-959-05-0702-1.

- Viale E. y Baldiviezo J., 2013. Economía verde o derecho de la naturaleza. En Delgado G. Economía verde: apuesta de continuidad del desarrollo desigual y el abuso de los bienes comunes. (ed.). Ruth. Calle 38 y ave. Cuba, edif. Los cristales, oficina no 6. Apdo 2235, zona 9ª, Panamá ISBN: 978-9962-697-59-6.