

## Effects of climate change on soils of cattle regions from the southern karst plain Habana - Matanzas, Cuba

### Efectos del cambio climático en suelos de regiones ganaderas de la llanura cársica meridional Habana - Matanzas, Cuba

J. M. Febles González<sup>1</sup>, J. Somoza Cabrera<sup>1</sup>, Marina B. Vega<sup>2</sup>, N. Amaral Sobrinho<sup>3</sup>,  
A. Calderín García<sup>3</sup>, and J.M. Febles Díaz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de La Habana, Zapata y G, Vedado, Plaza de la Revolución, Ciudad de La Habana, C.P. 10 400

<sup>2</sup>Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", CUJAE, Ave. 114 No. 11901, Marianao, Ciudad Habana

<sup>3</sup>Universidad Federal Rural do Rio de Janeiro. Br 465 km 7, Seropédica - R J, Brasil

Email: febles@rect.uh.cu

Currently, the effects of climate change lead to widespread processes of soil degradation in cattle regions, with serious environmental, social and economic consequences. This has especially significant in the karst regions of western Cuba, which coincides with the areas of highest agricultural production, population density and the most important water supply basins of several provinces. Based on researches carried out for more than three decades in reference livestock farms, and through a combination of qualitative and quantitative data, this article exposes the effects of intensive anthropogenesis and climate change on the spatial - temporal evolution of soil properties. Among them, the reduction of organic matter content, pH increase, compaction values with apparent density thresholds higher than 1.34 Mg.m<sup>-3</sup>, reinforcement of karstic-erosive processes, salinization, and others that coexist zonally and spatially in an essentially superficial domain (A + B0-50 cm), with a marked tendency to increase. These results should be interpreted as an indispensable basis for the design of mitigation and adaptation strategies with an agro-ecological approach in regions of Cuba.

Key words: *erosion, sustainability, karst regions.*

The effect of climate change (CC) is more marked and accelerated in tropical and subtropical regions due to the interactions of soil and climate characteristics with agricultural practices (Solano *et al.* 2006) and the transformations of forests in savannas by anthropogenic influence (Morales *et al.* 2003 and Costa *et al.* 2007). In this context, grasslands have great untapped potential to mitigate CC by absorbing and storing CO<sub>2</sub>. According to FAO reports (2010), grasses and soils used in grazing represent a carbon sump, which could exceed that offered by forests, if are used properly. In Cuba, cattle areas have more than 50 grass varieties, including grasses, legumes and other herbaceous species and perennial tropical trees, with high efficiency in the solar energy capture. Many of these species are from the deep-rooted C<sub>4</sub> photosynthetic pathway, which adapt to different types of soils with minimal imported inputs (Milera 2011).

The agricultural sector represents one of the activities most vulnerable to the CC. While in 2000, agricultural productions were responsible for the

Actualmente, los efectos del cambio climático conducen a procesos generalizados de degradación de suelos en regiones ganaderas, con graves consecuencias ambientales, sociales y económicas. Esto tiene especial significación en las regiones cársicas del Occidente de Cuba, que coincide con las zonas de mayor producción agrícola, densidad de población y con las cuencas de abastecimiento de agua más importantes de varias provincias. A partir de investigaciones realizadas por más de tres décadas en establecimientos ganaderos de referencia, y mediante la combinación de datos cualitativos y cuantitativos, este artículo expone los efectos de la antropogénesis intensiva y el cambio climático en la evolución espacio - temporal de las propiedades de los suelos. Entre ellos, la disminución del contenido de materia orgánica, aumento del pH, valores de compactación con umbrales de densidad aparente superiores a 1.34 Mg.m<sup>-3</sup>, reforzamiento de los procesos cársico - erosivos, salinización, y otros que coexisten zonal y espacialmente en un dominio esencialmente superficial (A + B0-50 cm), con marcada tendencia a incrementarse. Estos resultados se deben interpretar como base indispensable para el diseño de estrategias de mitigación y adaptación con enfoque agroecológico en regiones de Cuba.

Palabras clave: *erosión, sostenibilidad, regiones cársicas.*

El efecto del cambio climático (CC) es más acentuado y acelerado en regiones tropicales y subtropicales, debido a las interacciones de las características de los suelos y el clima con las prácticas agrícolas (Solano *et al.* 2006) y las transformaciones de los bosques en sabanas por la influencia antropogénica (Morales *et al.* 2003 y Costa *et al.* 2007). En este contexto, los pastizales poseen gran potencial sin explotar para mitigar el CC, al absorber y almacenar CO<sub>2</sub>. Según informes de la FAO (2010), los pastos y los suelos destinados a pastoreo representan un sumidero de carbono, que podría superar al que ofrecen los bosques, si se utilizan adecuadamente. En Cuba, las áreas ganaderas cuentan con más de 50 variedades de pastos, entre las que se incluyen gramíneas, leguminosas y otras especies herbáceas y arbóreas tropicales perennes, con alta eficiencia en la captación de la energía solar. Muchas de estas especies son del sendero fotosintético C<sub>4</sub>, de raíces profundas, que se adaptan a diferentes tipos de suelos con mínimos insumos importados (Milera 2011).

El sector agropecuario representa una de las actividades más vulnerables al CC. Mientras que en el 2000, las

emission of  $1.6 \text{ GtC} \cdot \text{y}^{-1}$ , in 2007 that figure was  $8.0 \text{ GtC} \cdot \text{y}^{-1}$ , with an annual average increase of  $0.91 \text{ GtC} \cdot \text{y}^{-1}$  (Gerber *et al.* 2013). From these emissions, livestock productions were responsible for most, due to enteric digestion and lack of excreta management from large herds, both methane-producing. According to Bonilla and Lemus (2012), this may represent 7.2-70%, with respect to total greenhouse gas emissions in different countries. Gutiérrez *et al.* (2012) reported that these emissions have a warming capacity 23 times higher than that of carbon dioxide.

Changes in average climatic conditions can also increase the frequency of irregularities in the distribution and concentration of rains and extreme events, such as hurricanes, floods and droughts, among other phenomena that favor desertification processes (Changnon 2009). For Cuba, droughts, sea penetrations and, particularly, hurricanes, are extreme weather events related to the effects of CC. Their duration periods are increasingly prolonged and severe (Nadarajah 2005 and Elsner *et al.* 2008). In the case of hurricanes, a total of 127 occurred in the last 200 years, of which 12 occurred during 2001-2008, with the consequent social and economic effect (ONEI 2013) and significant effects on the degradation processes of soils.

Based on researches carried out over the last 30 years by Febles-González *et al.* (2014), related to the evaluation of soil erosion in reference livestock farms of the Southern Karst Plain Habana-Matanzas under different technologies in grasses and forage grasses, and considering the pioneering studies of Bennett (1926) and Bennett and Allison (1962), the objective of this study was to evaluate the main effects of CC on the degradation of Red ferrallitic soils in livestock farms, to adopt mitigation and adaptation strategies.

### Materials and Methods

The research was carried out in several reference livestock farms, located in the central portion of the Southern Karst Plain Habana - Matanzas (figure 1), with soils historically subjected to anthropogenesis, and karstic - erosive dynamics, showing different degrees of development, according to the conditions of use and management to which they have been subjected during the last 30 years.

The methodology used in the research was based on the application of the integrative system of qualitative and quantitative methods (Febles 2007), which includes the use of models to evaluate soil erosion. The MMF model (Morgan *et al.* 1984 and Morgan 2001) was used to evaluate soil losses at the Rosafé Signet Artificial Insemination Center (plains karst) and in Nazareno cattle district (heights karst). This model was applied with satisfactory results by Vega *et al.* (2011, 2013) and Febles-González *et al.*

producciones agropecuarias eran responsables de la emisión de  $1.6 \text{ GtC} \cdot \text{a}^{-1}$ , en 2007 esa cifra fue de  $8.0 \text{ GtC} \cdot \text{a}^{-1}$ , con aumento medio anual de  $0.91 \text{ GtC} \cdot \text{a}^{-1}$  (Gerber *et al.* 2013). De esas emisiones, las producciones pecuarias eran responsables de la mayor parte, debido a la digestión entérica y a la falta de manejo de las excretas de grandes rebaños, ambas generadoras de metano. Según Bonilla y Lemus (2012), esto puede representar de 7.2- 70 %, con respecto al total de emisiones de gases de efecto invernadero en diferentes países. Gutiérrez *et al.* (2012) refieren que esas emisiones de gases tienen capacidad de calentamiento 23 veces superior a la del dióxido de carbono.

Los cambios en las condiciones climáticas medias también pueden incrementar la frecuencia de irregularidades en la distribución y concentración de las lluvias y de eventos extremos, como son los huracanes, las inundaciones y sequías, entre otros fenómenos, que favorecen los procesos de desertificación (Changnon 2009). Para Cuba, las sequías, las penetraciones del mar y, particularmente, los huracanes, constituyen eventos meteorológicos extremos relacionados con las afectaciones del CC. Sus períodos de duración son cada vez más prolongados y severos (Nadarajah 2005 y Elsner *et al.* 2008). En el caso de los huracanes, en los últimos 200 años han ocurrido un total de 127, de ellos 12 se produjeron durante 2001 - 2008, con el consecuente efecto social y económico (ONEI 2013) y afectaciones notables en los procesos de degradación de los suelos.

A partir de investigaciones realizadas durante los últimos 30 años por Febles-González *et al.* (2014), relacionadas con la evaluación de la erosión de los suelos en establecimientos ganaderos de referencia de la Llanura Cársica Meridional Habana-Matanzas con diferentes tecnologías en áreas de pastos y de pastos para forrajes, y al considerar los estudios pioneros de Bennett (1926) y Bennett y Allison (1962), el objetivo de este artículo fue evaluar los efectos principales del CC en la degradación de los suelos Ferralíticos Rojos en establecimientos ganaderos, para adoptar estrategias de mitigación y adaptación.

### Materiales y Métodos

La investigación se desarrolló en varios establecimientos ganaderos de referencia, ubicados en la porción central de la Llanura Cársica Meridional Habana - Matanzas (figura 1), con suelos históricamente sometidos a la antropogénesis, y a dinámica cársico-erosiva, que muestra diferentes grados de desarrollo, conforme a las condiciones de uso y manejo a que han estado sometidos durante los últimos 30 años.

La metodología empleada en la investigación se sustentó en la aplicación del sistema integrador de métodos cualitativos y cuantitativos (Febles 2007), que incluye la utilización de modelos para evaluar la erosión de los suelos. Se utilizó el modelo MMF (Morgan *et al.* 1984 y Morgan 2001) para evaluar las pérdidas de suelos en el Centro de Inseminación Artificial "Rosafé Signet" (carso de llanuras) y en el distrito pecuario Nazareno

(2012), although in Cuba the use of models to assess the relations between soil degradation processes and CC is not widespread yet. Likewise, 32 main profiles were characterized, with soil samples per depths every 10 cm from the surface to the level of erosion diagnostic horizons A + B0-50 cm. Information from 208 rain gauges, contained in CENHICA (1997), was used, with an equipment average period of operation of 40 years that, according to Vígoa (2000), is a reliable information. With these data, Fournier Modified Index (Arnoldus 1980) and Precipitation Concentration Index (Oliver 1980) were calculated. Temporal impacts of climate variables were estimated using empirical statistical models.

The region receives approximately 76-80 % of the precipitations occurring in Mayabeque and Artemisa provinces (Herrera 1996). The annual sheet shows values

(carso de alturas). Este modelo se aplicó con resultados satisfactorios por Vega *et al.* (2011, 2013) y Febles-González *et al.* (2012), a pesar de que en Cuba está poco generalizada aún la utilización de modelos para evaluar las relaciones entre los procesos de degradación de los suelos y el CC. Asimismo, se caracterizaron 32 perfiles principales, con muestras de suelos por profundidades cada 10 cm a partir de la superficie hasta el nivel de los horizontes de diagnóstico erosivo A + B0-50cm. Se utilizó información de 208 pluviómetros, contenida en CENHICA (1997), con un período de funcionamiento promedio de los equipos de 40 años que, según Vígoa (2000), resulta una información confiable. Con estos datos, se calculó el Índice Modificado de Fournier (Arnoldus 1980) y el Índice de Concentración de las Precipitaciones (Oliver 1980). Los impactos temporales de las variables climáticas se estimaron con modelos estadísticos empíricos.

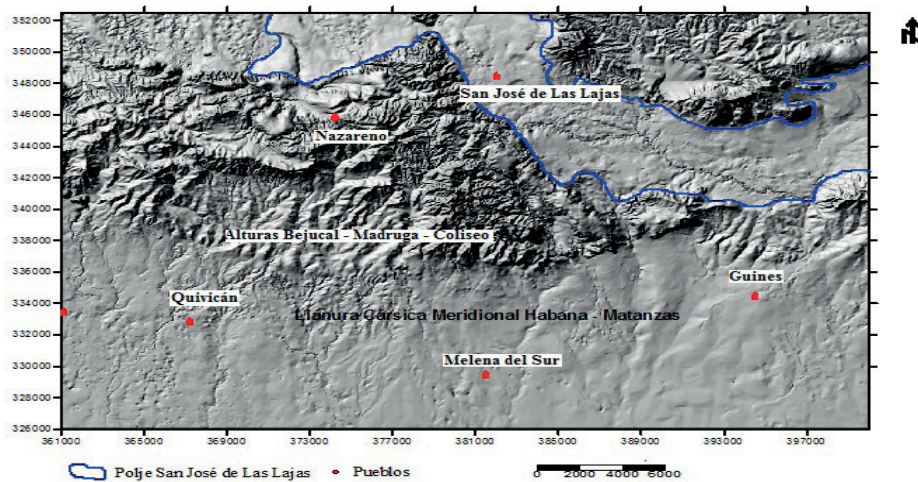


Figure 1. Location of livestock farms in the central portion of the Southern Karst Plain Habana - Matanzas, Cuba

between 1 400 - 1 600 mm (figure 2).

The most widespread soils are from the Red Ferralitic Grouping (Paneque *et al.* 1991) and are classified by the IUSS Working Group WRB (2007) and Soil Survey Staff (2010) as Nitisols and Alfisol or Ultisol, respectively.

La región recibe, aproximadamente, del 76 – 80 % de las precipitaciones que ocurren en las actuales provincias Mayabeque y Artemisa (Herrera 1996). La lámina anual muestra valores comprendidos entre 1 400 – 1 600 mm (figura 2).

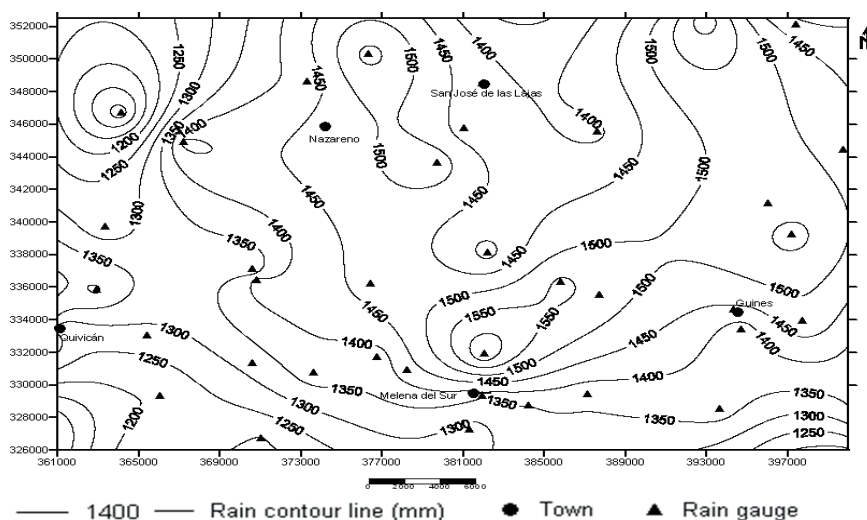


Figure 2. Average annual precipitations in livestock regions of the Southern Karst Plain Habana - Matanzas, Cuba (Vega and Febles 2006)

The textural composition generally has clay contents higher than 60 %, with well drained argillic B horizon and pH between 6.0 and 7.0.

### Results and Discussion

Livestock is characterized by limited resistance to adverse climatic factors (solar radiation, temperatures, droughts and others). The predictions performed in the different CC scenarios show that precipitations will increase in some regions, while in others it will increase drought, in a rather irregular temporal and spatial distribution (Fischer *et al.* 2002, Fischlin 2007 and FAO 2008). However, climatic projections using climate models show that, by the end of the 21<sup>st</sup> century, the climate will be warmer, drier and more extreme in the area under research (table 1) with an increase in maximum and average temperatures (contrary to expectations) and increase in average precipitation levels.

On average, from 1991 to 2011, it was observed an increase of the maximum temperature in 0.1 °C and level of precipitations of 11 mm. However, there were important performances due to their possible effect on

Los suelos más difundidos son del Agrupamiento Ferralítico Rojo (Paneque *et al.* 1991) y se clasifican por la IUSS Working Group WRB (2007) y Soil Survey Staff (2010) como Nitisoles y Alfisol o Ultisol, respectivamente. La composición textural posee, generalmente, contenidos de arcilla mayores de 60 %, con horizonte B argílico bien drenado y pH entre 6.0 y 7.0.

### Resultados y Discusión

La masa ganadera se caracteriza por poseer resistencia limitada a los factores climáticos adversos (radiación solar, temperaturas, sequías y otros). Las predicciones realizadas en los diferentes escenarios de CC indican que las precipitaciones se incrementarán en algunas regiones, mientras que en otras aumentará la sequía, en una distribución temporal y espacial bastante irregular (Fischer *et al.* 2002, Fischlin 2007 y FAO 2008). No obstante, las proyecciones climáticas realizadas mediante modelos climáticos muestran que, hacia finales del siglo XXI, el clima será más cálido, seco y extremo en el área investigada (tabla 1), con incremento de la temperatura máxima y media superficial (contrario a las expectativas) y aumento en los niveles

Table 1. Main climatic variables of the Karst Plain Habana - Matanzas, Cuba.

Weather stations	Reference (1960 - 1990)				Reference (1991 - 2011)			
	Max t (°C)	Min t (°C)	Mean t (°C)	Prec (mm)	Max t (°C)	Min t (°C)	Mean t (°C)	Prec (mm)
Stgo de Las Vegas	29.6	20.2	24.9	128.3	29.8	20.2	25.0	134.4
Güira de Melena	30.2	19.5	24.9	108.4	30.5	19.7	25.1	133.8
Batabanó	30.2	19.6	24.9	97.7	30.3	19.5	24.9	121.2
Güines	30.2	19.4	24.8	123.8	30.4	19.3	24.9	124.1
Bainoa	29.5	18.4	24.0	116.4	29.7	18.0	23.9	131.9
Bauta	29.4	19.2	24.3	111	29.7	19.5	24.6	126.9
Tapaste	29.2	18.9	24.1	126.6	29.4	19.1	24.3	124.8
Melena del Sur	30.6	19	24.8	124.9	30.5	19.5	25.0	130.3
Unión de Reyes	30.9	19.8	25.4	110.5	30.8	19.6	25.2	129.5
Jovellanos	30.3	18.7	24.5	126.5	30.7	18.8	24.8	128.1
Jagüey Grande	31.3	18.8	25.1	123.5	31.4	18.7	25.1	128.1
Colón	31.1	19.3	25.2	108.7	30.6	19.3	25.0	126
Seasonal Means	30.2	19.2	24.7	117.2	30.3	19.3	24.8	128.3

Source: Own elaboration based on information from meteorological stations.

livestock, such as in Güira de Melena, where the increase of the maximum and average temperature was higher than the average for the territory (0.3 °C) and in Colón locality, with values of maximum temperature of 0.5 °C, lower than the reference period.

With respect to precipitations, the levels in the territory do not correspond to the average dynamics recorded for Cuba. All the stations reported increase in precipitations with respect to the reference period, except in Tapaste station, whose levels were reduced by almost 2 mm and Güines, Jovellanos and Jagüey Grande stations, which their increases were lower

medio de precipitaciones.

Como promedio, de 1991 a 2011, se constató incremento de la temperatura máxima en 0.1°C y nivel de precipitaciones de 11 milímetros. Sin embargo, hubo comportamientos de importancia por su posible efecto en la ganadería, como en la región de Güira de Melena, donde el incremento de la temperatura máxima y media fue superior al promedio para el territorio (0.3 °C) y en la localidad de Colón, con valores de temperatura máxima de 0.5 °C, inferior al del período de referencia.

Con respecto a las precipitaciones, los niveles en el territorio no se corresponden con la dinámica promedio

(0.3, 1.6 y 4.6 °C, respectively). This leads to a progressive decrease in the net primary productivity of agricultural ecosystems, as well as the potential density of biomass.

Figure 3 shows the map of the Fournier modified index, which shows the degree of climatic aggressiveness which characterizes the studied region, with values ranging between 185 and 195 mm, evaluated as very high. These indices show that rainfall erosivity is, generally, high, according to European Communities (1992).

This circumstance has contributed to the higher effect of the erosive processes, induced by the eventual runoff that occurs during each intense rain, increasing the hydromorphism and the carbonation-dissolution

registrada para Cuba. Todas las estaciones informan aumento de las precipitaciones con respecto al período de referencia, excepto en la estación de Tapaste, cuyos valores se redujeron en casi 2 mm y las estaciones de Güines, Jovellanos y Jagüey Grande, cuyos incrementos fueron menores (0.3, 1.6 y 4.6 °C, respectivamente). Esto conlleva a la disminución progresiva de la productividad primaria neta de los ecosistemas agropecuarios, así como de la densidad potencial de biomasa.

En la figura 3 se muestra el mapa del índice modificado de Fournier, que evidencia el grado de agresividad climática que caracteriza a la región estudiada, con valores que fluctúan entre 185 y 195 mm, evaluados como muy altos. Estos índices indican que la erosividad pluvial es, en general, elevada,

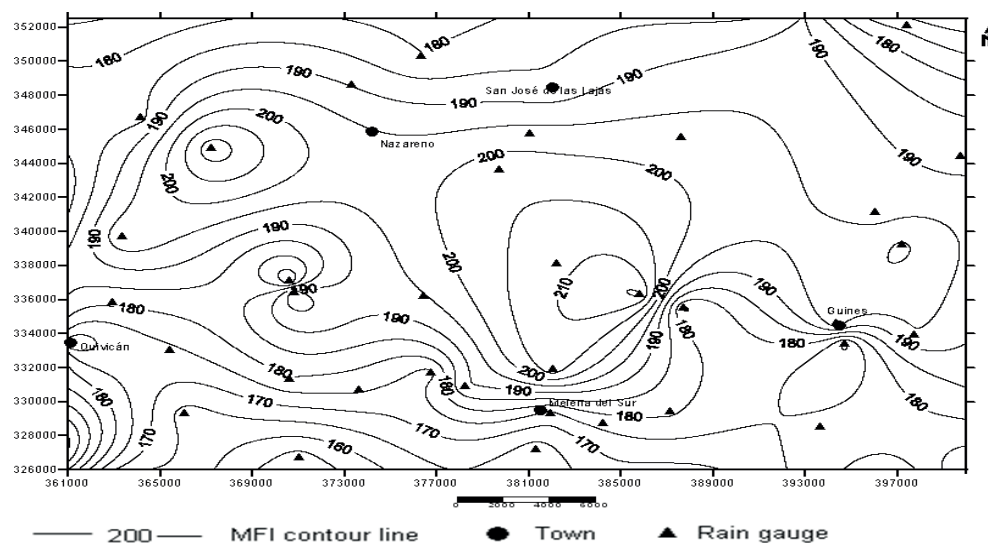


Figure 3. Fournier modified index (FMI) in livestock regions of the Southern Karst Plain Habana - Matanzas, Cuba (Vega and Febles 2006)

processes of the carbonated materials reported by Febles González *et al.* (2012) in karst depressions (karstic-funnels) of the Artificial Insemination Center Rosafé Signet, Pecuario Guayabal district and Aljibe among others. Figure 4 shows the PCI map, which shows that the calculated values oscillate between 13 and 14 %, according to Oliver (1980), which corresponds to a moderately seasonal distribution (figure 4).

The PCI values show that precipitations are distributed in certain months of the year, thus maintaining its erosive effect during that time interval (Vega and Febles 2008). If this characteristic is combined with very high erosivity, derived from the FMI values, it can be affirmed that although rain events occur in a certain season, they are very aggressive and therefore significantly influence on the agroecosystems degradation, since they favor karstic-erosive processes with the limestones dissolution, whose manifestations more evident result the amplitude of the fissures by corrosion

según European Communities (1992).

Esta circunstancia ha contribuido al mayor efecto de los procesos erosivos, inducidos por el escurrimiento eventual que tiene lugar durante cada lluvia intensa, incrementándose con ello el hidromorfismo y los procesos de carbonatación-disolución de los materiales carbonatados informados por Febles González *et al.* (2012) en depresiones cársicas (dolinas) del Centro de Inseminación Artificial Rosafé Signet, distrito Pecuario Guayabal y Aljibe entre otros. La figura 4 muestra el mapa del ICP, en el que se observa que los valores calculados oscilan entre 13 y 14 %, según Oliver (1980), lo que corresponde a una distribución moderadamente estacional (figura 4).

Los valores del ICP evidencian que las precipitaciones se distribuyen en determinados meses del año, manteniendo así su efecto erosivo durante ese intervalo de tiempo (Vega y Febles 2008). Si esta característica se conjuga con la erosividad muy alta, derivada de los valores del IMF, se puede afirmar que a pesar de que los eventos de lluvia se producen en una determinada estación, son muy agresivos, por lo que influyen significativamente en la degradación

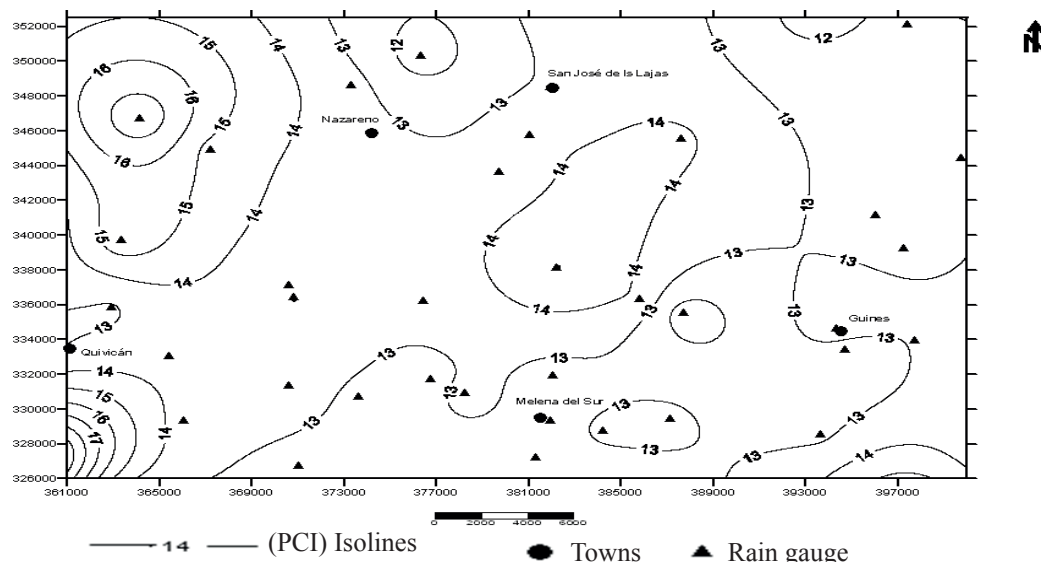


Figure 4. Precipitation concentration index (PCI) in livestock regions of the Southern Karst Plain Habana - Matanzas, Cuba (Vega and Febles 2006)

("precocious cut") that has given rise to a sequential evolution of the superficial karstic forms especially karstic funnels, described by Febles-González *et al.* (2009) in livestock farms from Mayabeque province. In addition, the concentration of CO<sub>2</sub> with increases of the average air temperature at 2 - 5 °C by CC effects and increases in H<sup>+</sup> ion concentrations by soil microbial activity produce humic and fulvic acids (García *et al.* 2014), which generate an increase in the equilibrium reactions that govern the carbonation process and subsequent dissolution of limestones. Therefore, the CC effects reinforce the karstic - erosive processes, generated by the characteristics of the precipitations in the researched region.

The influence of the CC can also be seen in the modification that some properties of the soils have experienced in the last years among them, the OM, the pH and the density.

The organic matter (OM) is considered the best indicator for measuring the sustainability of agroecosystems (Febles-González *et al.* 2014). The Red Ferrallitic soils were characterized by Bennett (1926), with OM contents between 2.58 - 7.35 %, which gave them high fertility and respect to the acid - base balance, Bennett and Allison (1962), reported moderately acid values ranging from 6.05 to 6.61. However, at present (table 2), the profound changes that have taken place over time evidenced by the high average of pH (7.62) and soil density (1.30 Mg.m<sup>-3</sup>) (Febles-González *et al.* 2009), which coincides with Hernández *et al.* (2006), who attribute this to the joint action of degradation processes associated with CC with temperatures increasing by 0.9 °C in Cuba plains in the last 60 years and especially in areas for grazing and miscellaneous crops.

These differences gradually decrease in depth, revealing the essentially external or tangential nature

de los agroecosistemas, ya que propician los procesos cársicos-erosivos con disolución de las calizas, cuyas manifestaciones más evidentes resultan la amplitud de las fisuras por corrosión ("cortamiento precoz") que ha dado lugar a una evolución secuencial de las formas cársicas superficiales especialmente dolinas, descritas por Febles-González *et al.* (2009) en establecimientos ganaderos de la provincia Mayabeque. Adicionalmente la concentración de CO<sub>2</sub> con aumentos de la temperatura promedio del aire a nivel de 2 - 5 °C por efectos de CC e incrementos en las concentraciones de iones H<sup>+</sup> por la actividad microbiana del suelo producen ácidos húmicos y fúlvicos (García *et al.* 2014), que generan un aumento en las reacciones de equilibrio que rigen el proceso de carbonatación y ulterior disolución de las calizas. Por tanto, los efectos del CC refuerzan los procesos cársico - erosivos, generados por las características de las precipitaciones en la región investigadas.

La influencia del CC también puede apreciarse en la modificación que han experimentado algunas propiedades de los suelos en los últimos años entre ellas, la MO, el pH y la densidad.

La materia orgánica (MO) es considerada el indicador por excelencia para medir la sostenibilidad de los agroecosistemas (Febles-González *et al.* 2014). Los suelos Ferralíticos Rojos fueron caracterizados por Bennett (1926), con contenidos de MO entre 2.58 - 7.35% lo que les concedía fertilidad elevada y respecto al equilibrio ácido - base, Bennett y Allison (1962), informaron valores moderadamente ácidos comprendidos entre 6.05 a 6.61. Sin embargo en la actualidad (Tabla 2) se destacan los profundos cambios que han tenido lugar a lo largo del tiempo evidenciados por el elevado promedio del pH (7.62) y de la densidad del suelo (1.30 Mg.m<sup>-3</sup>) (Febles-González *et al.* 2009), lo cual coincide con Hernández *et al.* (2006), quienes lo atribuyen a la acción conjunta de procesos de degradación asociados al CC con incremento

Table 2. Statistical performance of some soils properties in livestock regions of the Southern Karst Plain Habana - Matanzas, Cuba (García 2011)

	Total of measurement	Maximum			Standard deviation
		Minimum	Values	Average	
Ca	229	3.00	62.50	*22.32	13.32
Mg*	229	1.10	50.00	6.14	4.27
P*	229	0.10	901.00	96.16	141.94
CCB	229	4.70	71.75	29.22	15.43
MO	229	0.05	6.90	2.00	1.23
pH (H <sub>2</sub> O)*	226	5.48	8.32	7.62	0.56
pH (K Cl)*	226	4.96	7.77	6.92	0.60
Da	229	0.92	1.99	1.30	0.18
RP <sub>10-15 cm</sub> **	94	0.4	3.8	1.51	0.76
RP <sub>20-30 cm</sub> **	89	0.0	3.9	1.91	0.75
RP <sub>35-40 cm</sub> **	79	0.33	4.4	1.94	0.75

\*Logarithmic distribution \*\* Expressed in M Pa

of the morphogenetic processes, reinforced in recent decades by the CC, with joint and simultaneous actions, which corroborates the descriptions of Hernández *et al.* (2006), and Febles-González *et al.* (2014) for the territory.

Nevertheless, spaces with functional biological diversity still coexist, under cover of vegetation that has remained practically virgin or protected from the natural regeneration of the tree component, that when acting as induced fallow, provides some resilience (Astier-Calderón *et al.*). Under these conditions, removal of soil fractions is practically null, positive or very slow (Febles 2007), with predominance of pedogenesis and maintenance of soil properties.

The red ferrallitic soils of the central portion of the Southern Karst Plain Habana-Matanzas rest on limestone rocks or other carbonate materials with different impurities degrees (Gounou 1997 and Febles 2007). In the last 30 years, the estimates of these soil losses show that the karstic-erosive processes that affect the soil make it possible to predict non-tolerable losses in Rosafé Signet and Aljibe localities in Mampostón sub-basin, which compromise the future of the Red ferrallitic soils in these localities. This situation is due to climatic variations as a result of the CC (Plans 1999 and Webster *et al.* 2005), whose most characteristic expression is associated with the frequent occurrence of hurricanes in Mayabeque and Artemisa provinces and the increase in soil losses (table 3).

In 2003, in order to recover the earthen base for the cultivation of forage grasses, the authorities of "Rosafé Signet" Artificial Insemination Center poured into the kartic-funnel No. 3, 20 trucks of *ex situ* soil, with capacity of 5 to 7 t, which represented a volume of more than 100 t. In the executive phase of the research it was verified that the kartic-funnel was not filled and that the

de las temperaturas en 0.9 °C en las llanuras de Cuba en los últimos 60 años y en especial en las áreas destinadas a pastoreo y cultivos varios.

Estas diferencias disminuyen gradualmente en profundidad, lo que revela el carácter esencialmente externo o tangencial de los procesos morfogenéticos, reforzados en las últimas décadas por el CC, con acciones conjuntas y simultáneas, lo que corrobora las descripciones de Hernández *et al.* (2006), y Febles-González *et al.* (2014) para el territorio.

No obstante, aún coexisten espacios con diversidad biológica funcional, al amparo de una vegetación que ha permanecido prácticamente virgen o al abrigo de la regeneración natural del componente arbóreo, que al actuar como un barbecho inducido propicia cierta resiliencia (Astier-Calderón *et al.* 2002). En estas condiciones, la remoción de las fracciones del suelo es prácticamente nula, positiva o muy lenta (Febles 2007), con predominio de la pedogénesis y el mantenimiento de las propiedades del suelo.

Los suelos ferralíticos rojos de la porción central de la Llanura Cársica Meridional Habana-Matanzas se sustentan sobre rocas calizas u otros materiales carbonatados con distinto grado de impurezas (Gounou 1997 y Febles 2007). En los últimos 30 años, las estimaciones de las pérdidas de estos suelos evidencian que los proceso cársico-erosivos que los afectan permiten realizar pronósticos de pérdidas no tolerables, en las localidades Rosafé Signet y Aljibe en la subcuenca Mampostón, que comprometen el futuro de los suelos ferralíticos rojos en estas localidades. Esta situación se debe a las variaciones climáticas, como resultado del CC (Planos 1999 y Webster *et al.* 2005), cuya expresión más característica se asocia al paso frecuente de los huracanes por las provincias de Mayabeque y Artemisa y al incremento de las pérdidas de suelo (tabla 3).

En el año 2003, para recuperar el fondo de tierra destinado al cultivo de pastos para forrajes, las autoridades

Table 3. Soil losses in the kartic-funnels using the MMF model (Morgan *et al.* 1984 and Morgan 2001) at the Artificial Insemination Center "Rosafé Signet" and "Aljibe" in Mampostón sub-basin, Mayabeque province, Cuba (Febles-González *et al.* 2012).

Kartic funnel No.	Stage 1986 – 2009 C <sub>1</sub> (Not apparent erosion) Horizon A <sub>(0–490 mm)</sub>			
	Soil losses (t ha <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup> )			
	1986	1997	2009	Mean
1	15.957	17.820	17.649	17.227
2	17.631	16.917	20.208	18.460
3	21.357	22.128	23.613	22.554
4	14.847	14.244	14.262	14.442
5	10.011	8.355	11.910	10.345
6	9.390	9.729	10.425	9.876
7	10.686	17.142	12.042	13.894
8	12.024	10.029	12.381	11.566
9	9.012	10.143	10.668	10.142
10	10.725	11.514	12.306	11.580
11	16.068	20.226	19.419	18.885
12	13.038	13.077	14.319	13.548
13	16.653	18.120	18.816	17.970
14	10.275	11.628	13.038	11.814
15	---	---	14.073	---
16	---	---	36.897	---
Mean	12.329	13.292	13.707	---

dissolution process through the ponor continues. This practice was not effective from the environmental point of view, since it obstructed just the drainage routes through which the runoff occurs (ponors), nor was it in the economic order.

The loss volumes reach up to 13.71 t ha<sup>-1</sup>year<sup>-1</sup> (table 3), and exceed the threshold tolerance values proposed by the USLE (Soil Survey Staff 2010), as well as the rates of soils formation derived from limestone rocks in Cuba. From these results, a forecast was made (table 4) of the future trends of soil losses.

This forecast has not taken into account the inevitable process of morphometric expansion of forms of karmic absorption (with a marked tendency towards endorheism), management practices and changes in the use of edaphic cover, the extreme weather events associated with CC, among other factors. Thus, the magnitudes of soil loss could be much more drastic

del Centro de Inseminación Artificial "Rosafé Signet" vertieron en la dolina No. 3, 20 camiones de suelo *ex situ*, con capacidad de 5 a 7 t, que representó un volumen de más de 100 t. En la fase ejecutiva de la investigación se pudo constatar que la dolina no se rellenó y que el proceso de disolución a través del ponor continúa. Esta práctica no fue efectiva desde el punto de vista ambiental, ya que obstruyó justamente las vías de drenaje por las que tiene lugar el escurrimiento (ponores), así como tampoco lo fue en el orden económico.

Los volúmenes de pérdidas alcanzan hasta 13.71 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> (tabla 3), y superan los valores umbrales de tolerancia propuestos por la USLE (Soil Survey Staff 2010), al igual que las tasas de formación de suelos derivados de rocas calizas en Cuba. A partir de esos resultados, se realizó un pronóstico (tabla 4) de las tendencias futuras de las pérdidas de suelos.

Este pronóstico no ha tenido en cuenta el inevitable

Table 4. Soil losses forecast for the next 50 years at the Artificial Insemination Center "Rosafé Signet" and "Aljibe" in Mampostón sub-basin, Mayabeque province, Cuba (Febles-González *et al.* 2012)

Stage year 2034 C <sub>1</sub> (Moderate erosion) Horizon A <sub>(0–221.50 mm)</sub>		Stage year 2059 C <sub>1</sub> (Severe erosion) Horizon A <sub>(0–39.48mm)</sub>	
Y (mm year <sup>-1</sup> )	Y (cm year <sup>-1</sup> )	Y (mm year <sup>-1</sup> )	Y (cm year <sup>-1</sup> )
268.52	26.80	450.52	45.00



and irreversible, and the karstic process can thus reach its paroxysmal phase and a substantial reduction of the useful earth bottom, which coincides with the results obtained by Wang *et al.* (2004) and López-Vicente *et al.* (2009), in similar regions.

Climate change mitigation and adaptation strategies require the implementation of actions related to social and economic aspects, from the perspective of ensuring their biological sustainability in short, medium and long term. In this context, diversified, integrated, independent and decentralized systems that produce energy, human and animal food, without affecting the ecosystem, are one of the main challenges of livestock. Livestock areas in the Southern Karst Plain Habana-Matanzas have more than 50 grasses varieties, which with a strategic management of soil and water can fix carbon (and nitrogen, in the case of legumes) at different depths, avoid erosion and mitigate CC. Also, the application of the principles of existing technologies, adjusted to the edaphoclimatic and agro-ecological conditions of the locality, can be the success of sustainable production systems.

The application of exogenous OM is a sustainable alternative and promising strategy for the recovery of degraded soils in grassland areas can reduce erosion and reduce losses from burning and overgrazing, thus helps to retain larger amounts of carbon. The ability of humic substances to improve soil conditions is a well-established property, capable of increasing the aggregates stability (Piccolo *et al.* 1997), as well as acting as an electron donor for microbial respiration (Lovley *et al.* 1996).

Composite materials (vermicompost and compost), sources of humic substances, can be an efficient alternative to attenuate the salinity effect of soils by increasing the organic matter content, increasing the microbial community and improving the chemical and physical attributes (Lakhdar *et al.* 2009 and García *et al.* 2004). At the same time, the application of vermicompost improves productivity and crop yields in different irrigation regimes (Yang *et al.* 2015). In the current context of CC, the decline in the availability of water for livestock will be a challenge. The application of humic substances, obtained from vermicompost to grasses, legumes and other herbaceous species and perennial tropical trees (figure 5), will improve some metabolic characteristics related to anti-stress resistance, in addition to increasing root growth (García *et al.* 2014).

Another consideration is the defense of biological diversity. According to some estimates, the biodiversity potential of grasslands is only slightly lower than that of forests. But there is evidence that the number of animal and plant species and microorganisms residing on grazing lands is alarmingly low because of inadequate management, land use change, and recently because of CC.

proceso de ampliación morfométrica de las formas de absorción cársica o “dolinización” (con marcada tendencia hacia el endorreísmo), las prácticas de manejo y cambios en el uso de la cobertura edáfica, los eventos meteorológicos extremos asociados al CC, entre otros factores. Por ello, las magnitudes de pérdida de suelos podrían ser mucho más drásticas e irreversibles, y el proceso cársico puede alcanzar así su fase paroxismal y una reducción sustancial del fondo de tierra útil, lo que coincide con los resultados obtenidos por Wang *et al.* (2004) y López-Vicente *et al.* (2009), en regiones similares.

Las estrategias de mitigación y adaptación ante el cambio climático requieren que se implementen acciones relacionadas con los aspectos sociales y económicos, desde la perspectiva de garantizar su sostenibilidad biológica a corto, mediano y largo plazo. En este contexto, los sistemas diversificados, integrados, independientes y descentralizados que produzcan energía, alimento humano y animal, sin afectar el ecosistema, constituyen uno de los principales retos de la ganadería. Las áreas ganaderas en la Llanura Cársica Meridional Habana-Matanzas cuentan con más de 50 variedades de pastos, los que con un manejo estratégico del suelo y el agua pueden fijar carbono (y nitrógeno, en el caso de las leguminosas) a diferentes profundidades, evitar la erosión y mitigar el CC. Asimismo, la aplicación de los principios de las tecnologías existentes, ajustados a las condiciones edafoclimáticas y agroecológicas de la localidad, pueden constituir el éxito de los sistemas de producción sostenibles.

La aplicación de MO exógena constituye una alternativa sustentable y una estrategia promisoría para la recuperación de suelos degradados en áreas de pastizales, puede reducir la erosión y disminuir las pérdidas derivadas de la quema y el sobrepastoreo, por tanto ayudar a retener cantidades mayores de carbono. La capacidad de las sustancias húmicas para mejorar las condiciones del suelo es una propiedad bien establecida, capaz de aumentar la estabilidad de los agregados (Piccolo *et al.* 1997), así como también funcionar como donante de electrones para la respiración microbiana (Lovley *et al.* 1996).

Los materiales compostados (vermicompost y compost), fuentes de sustancias húmicas, pueden constituir una alternativa eficiente para atenuar el efecto de la salinidad de los suelos mediante el aumento del contenido de materia orgánica, aumento de la comunidad microbiana y mejora de los atributos químicos y físicos (Lakhdar *et al.* 2009 y García *et al.* 2014). Al mismo tiempo, la aplicación de vermicompost mejora la productividad y el rendimiento de los cultivos en diferentes regímenes de riego (Yang *et al.* 2015). En el contexto actual de los CC, la disminución en la disponibilidad de agua para la ganadería constituirá un desafío. La aplicación de sustancias húmicas, obtenidas a partir de vermicompost, a gramíneas, leguminosas y otras especies herbáceas y arbóreas tropicales perennes (figura 5), mejorará algunas características metabólicas relacionadas con la resistencia antiestrés, además de

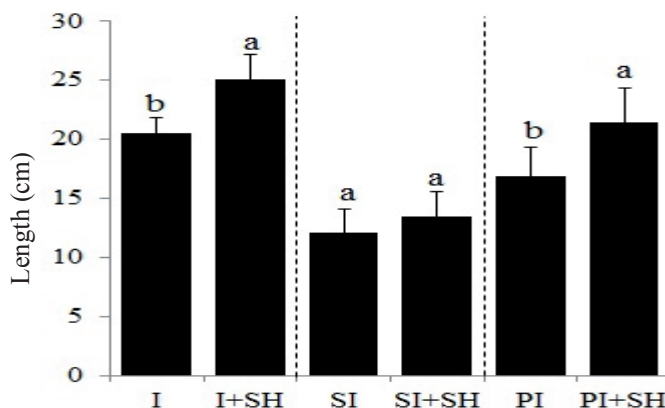


Figure 5. Root length: (SH). I: irrigated, I + SH: irrigated and with SH application. SI: without irrigation, SI + SH: without irrigation and with SH application. PI: poorly irrigated, PI + SH: poorly irrigated and with SH application. Different letters indicate significant differences between the means (Tukey  $p < 0.05$ ).

In addition to these alternatives, animal production can also developed adaptation measures derived from the application of the results of animal genetic improvement, when introducing breeds that are more tolerant to high temperatures, able to maintain their productivity with lower water intake or having other characteristics appropriate to the environment they were use.

The agricultural sector, characterized as an open production system, is one of the activities that is most linked, and which is more vulnerable to CC. In the last 30 years, changes in the soil properties of the Southern Karst Plain Habana-Matanzas have been evidenced as a result of an intensive anthropogenesis, modulated by CC in a particular environment, specifically the karstic, although the red ferrallitic soils have great ability to "digest" changes. However, it seems that these, and those who will potentially come, could accelerate their degradation or diminish their productive capacity. This resilient property will depend on the magnitude of the threats and the correctness of the management practices that are implemented.

The most notable effects are expressed mainly in the depths of the diagnostic horizons A + B<sub>0-50</sub>, with the progressive decrease of organic matter contents, pH increases, compaction values with apparent density thresholds higher than 1.34 Mg .m<sup>-3</sup>, reinforcement of karstic-erosive processes, salinization, among others, with a marked tendency to increase.

There is important evidence that the change in climatic variables, especially surface mean temperature, and average precipitation levels influence on the degradation processes of the best soils in Cuba. However, these evidences are not conclusive, insofar as such soil loss processes are the only and fundamental result of CC. To the climatic effects is added more than 50 years of inadequate agricultural practices and the exploitation and use of resources in

augmentar el crecimiento radicular (García *et al.* 2014).

Otra consideración es la defensa de la diversidad biológica. Según algunos cálculos, el potencial de diversidad biológica de los pastizales es tan solo ligeramente inferior al de los bosques. Pero existen evidencias de que el número de especies de animales y plantas y de microorganismos que residen en las tierras de pastoreo disminuye de forma alarmante a causa de la gestión inadecuada, el cambio de usos del suelo y, recientemente, a causa del CC.

Además de estas alternativas, la producción animal también puede desarrollar medidas de adaptación derivadas de la aplicación de los resultados del mejoramiento genético animal, al introducir razas más tolerantes a las altas temperaturas, capaces de mantener su productividad con menor consumo de agua o que posean otras características apropiadas al ambiente en que se manejen.

El sector agrario, caracterizado como un sistema de producción abierto, es una de las actividades que más se vincula, y que es más vulnerable al CC. En los últimos 30 años, se evidencian cambios en las propiedades de los suelos de la Llanura Cársica Meridional Habana-Matanzas, como consecuencia de una antropogénesis intensiva, modulada por el CC en determinado ambiente, específicamente el cársico, a pesar de que los suelos ferralíticos rojos poseen gran capacidad para "digerir" los cambios. Sin embargo, parece que estos, y los que potencialmente vendrán, podrían acelerar su degradación o disminuir su capacidad productiva. Esta propiedad resiliente dependerá de la magnitud de las amenazas y del acierto en las prácticas de manejo que se implementen.

Los efectos más notables se expresan, principalmente, en las profundidades de los horizontes de diagnóstico A + B<sub>0-50</sub>, con el descenso progresivo de los contenidos de materia orgánica, aumentos de pH, valores de compactación con umbrales de densidad aparente superiores a 1.34 Mg.m<sup>-3</sup>, reforzamiento de los procesos cársico-erosivos, salinización, entre otros, con marcada tendencia a incrementarse.

an irrational way, which makes its agro-productivity very vulnerable to changes and variations of the climate.

It is necessary to gather more information to deep into the causes and clearly diagnose the problems that can be generated, as an indispensable basis for the design of mitigation and adaptation strategies, with an agroecological approach in regions that contribute approximately 30 % of Cuba's agricultural production.

Existen evidencias importantes de que el cambio de las variables climáticas, en especial la temperatura media superficial, y los niveles de precipitaciones promedios influyen en los procesos de degradación de los mejores suelos de Cuba. Sin embargo, estas evidencias no resultan conclusivas, en cuanto a que tales procesos de pérdida de suelos sean resultado, única y fundamentalmente del CC. A los efectos climáticos se le adicionan más de 50 años de prácticas agrícolas inadecuadas y de explotación y uso de los recursos de forma irracional, lo que hace que su agroproductividad sea muy vulnerable a los cambios y variaciones del clima.

Es necesario recopilar mucha más información para profundizar en las causas y diagnosticar claramente los problemas que se pueden generar, como base indispensable para el diseño de estrategias de mitigación y adaptación, con enfoque agroecológico en regiones que aportan, aproximadamente, 30% de la producción agropecuaria de Cuba.

### References

- Arnoldus, H. M. J. 1980. "An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation". In: de Boedt, M. & Gabriels, D. (eds.), *Assessment of Erosion*, Chichester, UK: John Wiley and Sons Ltd, pp. 127–132, Available: <<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19831974087>>, [Consulted: February 13, 2017].
- Astier-Calderón, M., Mass-Moreno, M. & Etchevers-Barr, J. 2002. "Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable". *Agrociencia*, 36(5): 605–620, ISSN: 1405-3195.
- Bennett, H. H. 1926. "Some comparisons of the properties of humid-tropical and humid-temperate american soils; with special reference to indicated relations between chemical composition and physical properties". *Soil Science*, 21(5): 349–376, ISSN: 0038-075X.
- Bennett, H. H. & Allison, R. V. 1962. *Los suelos de Cuba: Algunos nuevos suelos de Cuba*. Comisión Nacional de Cuba de UNESCO (ed.), Edición Revolucionaria, 512 p., Available: <<https://books.google.com/cu/books?id=8S-sOAAACAAJ>>, [Consulted: February 15, 2017].
- Bonilla, C. J. A. A. & Lemus, F. C. 2012. "Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático: Revisión". *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 3(2): 215–246, ISSN: 2007-1124.
- CENHICA (Centro de Hidrología y Calidad de de las Aguas) 1997. *Bases de datos de lluvia*. La Habana, Cuba: Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, La Habana, Cuba, Available: <<https://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd19/collazo/sistbase.pdf>>, [Consulted: March 6, 2017].
- Changnon, S. A. 2009. "Tornado Losses in the United States". *Natural Hazards Review*, 10(4): 145–150, ISSN: 1527-6988, 1527-6996, DOI: 10.1061/(ASCE)1527-6988(2009)10:4(145).
- Costa, M. H., Yanagi, S. N. M., Souza, P. J. O. P., Ribeiro, A. & Rocha, E. J. P. 2007. "Climate change in Amazonia caused by soybean cropland expansion, as compared to caused by pastureland expansion". *Geophysical Research Letters*, 34(7), ISSN: 1944-8007, DOI: 10.1029/2007GL029271, Available: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2007GL029271/full>>, [Consulted: February 13, 2017].
- Elsner, J. B., Kossin, J. P. & Jagger, T. H. 2008. "The increasing intensity of the strongest tropical cyclones". *Nature*, 455(7209): 92–95, ISSN: 0028-0836, DOI: 10.1038/nature07234.
- European Communities 1992. *Corine Soil Erosion Risk and Important Land Resources in the Southern Regions of the European Community: An Assessment to Evaluate and Map the Distribution of Land Quality and Soil Erosion Risk*. Luxembourg: European Commission, 97 p., ISBN: 978-92-826-2545-3, Available: <<https://www.amazon.co.uk/Important-Resources-Southern-European-Community/dp/9282625451>>, [Consulted: February 15, 2017].
- FAO 2008. *Climate Change, Water and Food Security*. Technical background document from the expert consultation. High-Level conference on food security: the challenges of climate change and bioenergy, no. HLC/08/BAK/2, Roma, Italia: FAO, 17 p., Available: <<http://www.fao.org/nr/water/docs/HLC08-FAOWater-E.pdf>>, [Consulted: February 15, 2017].
- FAO 2010. *Global Forest Resources Assessment 2010*. Main report. FORESTRY Paper, no. 163, Roma, Italia: FAO, ISBN 978-92-5-106654-6, Available: <<http://www.fao.org/docrep/013/i1757e/i1757e.pdf>>, [Consulted: February 15, 2017].
- Febles, G. J. M. 2007. *Integración de Métodos para Evaluar la Erosión de los Suelos en las Regiones Cársticas de Cuba*. Ph.D Thesis, Universidad Agraria de La Habana, La Habana, Cuba, 100 p.
- Febles-González, J. M., Tolón-Becerra, A. & Vega-Carreño, M. B. 2009. "Edaphic indicators for assesment of soil erosion in karst regions, province of Havana, Cuba". *Land Degradation & Development*, 20(5): 522–534, ISSN: 1099-145X, DOI: 10.1002/ldr.929.
- Febles-González, J. M., Vega-Carreño, M. B., Do Amaral-Sobrinho, N. M. B., Tolón-Becerra, A. & Lastra-Bravo, X. B. 2014. "Good Soils in Extinction: Degradation of Red Ferralitic Soils in Western Cuba". *Soil Science*, 179(6): 304–313, ISSN:

- 0038-075X, DOI: 10.1097/SS.0000000000000070.
- Febles-González, J. M., Vega-Carreño, M. B., Tolón-Becerra, A. & Lastra-Bravo, X. 2012. "Assessment of soil erosion in karst regions of Havana, Cuba". *Land Degradation Development*, 23(5): 465–474, ISSN: 1099-145X, DOI: 10.1002/ldr.1089.
- Fischer, G., Shah, M. M. & van Velthuizen, H. T. 2002. *Climate Change and Agricultural Vulnerability*. Laxenburg, Austria: IIASA, Available: <<http://pure.iiasa.ac.at/6670/>>, [Consulted: February 13, 2017].
- Fischlin, A. 2007. "Ecosystems, their properties, goods, and services". In: Parry, M. (ed.), *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability : contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge: Cambridge University Press, pp. 211–272, ISBN: 978-0-521-70597-4.
- García, A. C., Santos, L. A., Izquierdo, F. G., Rumjanek, V. M., Castro, R. N., dos Santos, F. S., de Souza, L. G. A. & Berbara, R. L. L. 2014. "Potentialities of vermicompost humic acids to alleviate water stress in rice plants (*Oryza sativa* L.)". *Journal of Geochemical Exploration*, 136: 48–54, ISSN: 0375-6742, DOI: 10.1016/j.gexplo.2013.10.005.
- García, J. 2011. *Las curvas de retención de humedad y su estimación mediante funciones de pedotransferencia en suelos agrícolas de Artemisa y Mayabeque*. Ph.D Thesis, Universidad Agraria de La Habana, La Habana, Cuba, 100 p.
- Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. & Tempio, G. 2013. *Tackling climate change through livestock: A global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Rome, Italy: FAO, ISBN: 978-92-5-107921-8, Available: <<http://www.fao.org/3/i3437e.pdf>>, [Consulted: February 15, 2017].
- Gounou, E. 1997. *Aplicación del enfoque morfoedafológico al estudio de la variabilidad de algunos suelos en un geosistema cársico (La Habana, Cuba)*. Ph.D Thesis, Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana, La Habana, Cuba, 100 p.
- Gutiérrez, T., Centella, A., Limia, M. & López, M. 2012. *Impactos del cambio climático y medidas de adaptación en Cuba*. Informe Técnico, Cuba, 530 p., Available: <[http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2012\\_Planos\\_Impacto%20y%20Adaptacion,%20Libro.pdf](http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2012_Planos_Impacto%20y%20Adaptacion,%20Libro.pdf)>, [Consulted: March 19, 2017].
- Hernández, A., Morell, F., Ascanio, M. O., Borges, Y., Morales, M. & Yong, A. 2006. "Cambios globales de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados (Nitisoles ródicos eútricos) de la provincia La Habana". *Cultivos Tropicales*, 27(2): 41–50, ISSN: 0258-5936.
- Herrera, S. M. 1996. *Estudio agroclimático de las áreas cañeras del CAI «Héctor Molina Riaño» al Sur de la Provincia de la Habana*. M.Sc Thesis, Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana, La Habana, Cuba, 80 p.
- IUSS Working Group WRB 2007. *World reference base for soil resources 2006. A framework for international classification, correlation and communication*. Micheli, E. (ed.), (ser. World Soil Resources Reports, no. ser. 103), 2nd ed., Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 128 p., ISBN: 978-92-5-105511-3, Primera Actualización.
- Lakhdar, A., Rabhi, M., Ghnaya, T., Montemurro, F., Jedidi, N. & Abdelly, C. 2009. "Effectiveness of compost use in salt-affected soil". *Journal of Hazardous Materials*, 171(1–3): 29–37, ISSN: 0304-3894, DOI: 10.1016/j.jhazmat.2009.05.132.
- López-Vicente, M., Navas, A. & Machín, J. 2009. "Geomorphic mapping in endorheic catchments in the Spanish Pyrenees: An integrated GIS analysis of karstic features". *Geomorphology*, 111(1–2): 38–47, ISSN: 0169-555X, DOI: 10.1016/j.geomorph.2008.03.014.
- Lovley, D. R., Coates, J. D., Blunt-Harris, E. L., Phillips, E. J. & Woodward, J. C. 1996. "Humic substances as electron acceptors for microbial respiration". *Nature*, 382(6590): 445–448, ISSN: 0028-0836.
- Milera, M. de la C. 2011. "Cambio climático, afectaciones y oportunidades para la ganadería en Cuba". *Pastos y Forrajes*, 34(2): 127–143, ISSN: 0864-0394.
- Morales, M., Hernández, A. & Vantour, A. 2003. "Los cambios globales y su influencia en el contenido de materia orgánica en los suelos de Cuba". *Agricultura Orgánica*, 9(2): 15–18, ISSN: 1028-2130.
- Morgan, R. P. C. 2001. "A simple approach to soil loss prediction: a revised Morgan–Morgan–Finney model". *Catena*, 44(4): 305–322, ISSN: 0341-8162, DOI: 10.1016/S0341-8162(00)00171-5.
- Morgan, R. P. C., Morgan, D. D. V. & Finney, H. J. 1984. "A predictive model for the assessment of soil erosion risk". *Journal of Agricultural Engineering Research*, 30: 245–253, ISSN: 0021-8634, DOI: 10.1016/S0021-8634(84)80025-6.
- Nadarajah, S. 2005. "Extremes of Daily Rainfall in West Central Florida". *Climatic Change*, 69(2–3): 325–342, ISSN: 0165-0009, 1573-1480, DOI: 10.1007/s10584-005-1812-y.
- Oliver, J. E. 1980. "Monthly Precipitation Distribution: A Comparative Index". *The Professional Geographer*, 32(3): 300–309, ISSN: 0033-0124, DOI: 10.1111/j.0033-0124.1980.00300.x.
- ONEI 2013. *Anuario Estadístico de Cuba 2013*. La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI), Available: <<http://www.onei.cu/aec2013.htm>>, [Consulted: February 13, 2017].
- Paneque, J., Fuentes, E., Mesa, A. & Echemendía, A. 1991. "El Mapa Nacional de Suelos Escala 1:25 000". In: Villegas, D. R. & Ponce de León, D. (eds.), *XI Congreso Latinoamericano y II Congreso Cubano de la Ciencia del Suelo*, La Habana, Cuba: Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo, pp. 1345–1347.
- Piccolo, A., Pietramellara, G. & Mbagwu, J. S. C. 1997. "Use of humic substances as soil conditioners to increase aggregate stability". *Geoderma*, 75(3–4): 267–277, ISSN: 0016-7061, DOI: 10.1016/S0016-7061(96)00092-4.
- Planos, E. 1999. *Análisis Hidrológico de las grandes precipitaciones: Distritos físico - geográficos Pinar del Río, Habana-Matanzas y Centro*. Ph.D Thesis, Universidad Agraria de La Habana, La Habana, Cuba, 122 p.
- Soil Survey Staff 2010. *Keys to Soil Taxonomy*. Natural Resources Conservation Service & Agriculture Dept (eds.), 11th ed., Washington: Natural Resources Conservation Service, 344 p., ISBN: 978-0-16-085427-9, Available: <<https://www.amazon.com/Keys-Soil-Taxonomy-Survey-Staff/dp/016085427X>>, [Consulted: June 27, 2016].
- Solano, O., Vázquez, R. & Martín, M. E. 2006. "A study of the spatial extension of agricultural drought in Cuba and its hyper-annual trends". In: *Fifth FRIEND World Conference held at Havana, Cuba*: IAHS Publ., pp. 315–318, 308, Available: <<http://www.unesco.org/new/es/office-in-montevideo/ciencias-naturales/water-international-hydrological-programme/>>

- desastres-hidricos-y-cambios-hidrologicos/friend/>, [Consulted: March 19, 2017].
- Vega, M. B. & Febles, J. M. 2006. "EVERC: Nuevo método de evaluación de la erosión de los suelos en regiones cársicas". In: XIII Conferencia de Ingeniería y Arquitectura, La Habana, Cuba: CUJAE, ISBN: 959-261-248-X, CD ROM.
- Vega, M. B. & Febles, J. M. 2008. "La agresividad de la lluvia en áreas rurales de la provincia La Habana como factor de presión en la sostenibilidad agroambiental". In: II Seminario Internacional de Cooperación y Desarrollo en Espacios Rurales Iberoamericanos: Sostenibilidad e Indicadores, Almería, España: Universidad de Almería, pp. 107–115, ISBN: 978-84-8240-907-8.
- Vega, M. B., Febles, J. M., Tolón, A. & Lastra, X. 2011. "Potential soil erosion assessment through the CORINE methodology in cattle districts of the Mayabeque province, Cuba". Cuban Journal of Agricultural Science, 45(4), ISSN: 2079-3480, Available: <<http://cjascience.com/index.php/CJAS/article/view/103>>, [Consulted: February 13, 2017].
- Vega, M., Febles, J. M., Amaral, N. M. B., Tolón, A. & Lastra, X. 2013. "Application of the MMF model for soil erosion evaluation in the karstic slopes of the agricultural district Nazareno". Cuban Journal of Agricultural Science, 47(1), ISSN: 2079-3480, Available: <<http://cjascience.com/index.php/CJAS/article/view/258>>, [Consulted: February 13, 2017].
- Vigoa, H. R. R. 2000. Drenaje Agrícola. La Habana, Cuba: Félix Varela, 168 p., ISBN: 978-959-258-084-8.
- Wang, S.-J., Liu, Q.-M. & Zhang, D.-F. 2004. "Karst rocky desertification in southwestern China: geomorphology, landuse, impact and rehabilitation". Land Degradation & Development, 15(2): 115–121, ISSN: 1099-145X, DOI: 10.1002/ldr.592.
- Webster, P. J., Holland, G. J., Curry, J. A. & Chang, H.-R. 2005. "Changes in Tropical Cyclone Number, Duration, and Intensity in a Warming Environment". Science, 309(5742): 1844–1846, ISSN: 0036-8075, 1095-9203, DOI: 10.1126/science.1116448.
- Yang, L., Zhao, F., Chang, Q., Li, T. & Li, F. 2015. "Effects of vermicomposts on tomato yield and quality and soil fertility in greenhouse under different soil water regimes". Agricultural Water Management, 160: 98–105, ISSN: 0378-3774, DOI: 10.1016/j.agwat.2015.07.002.

**Received: November 16, 2016**