



FÍSICA Y CAMBIO CLIMÁTICO[‡]

Donald Gabriels¹✉, Deyanira Lobo² & Koen Verbist²

¹Universidad de Gante, Bélgica,
Departamento de Manejo de
Suelos y UNESCO, Chair on
Eremology

²Universidad Central de
Venezuela, Instituto de
Edafología.

✉: donald.gabriels@ugent.be

Palabras claves:

Cambio climático
Degradación física
Sequía
Procesos físicos

RESUMEN

La Física es el estudio de la naturaleza con sus cuatro elementos: tierra, aire, agua y fuego. Tierra se refiere al suelo con sus organismos vivientes. La física de la tierra es la "Física del Suelo" con los procesos físicos afectados por el impacto de la actividad del hombre y los factores climáticos. Las actividades humanas y el cambio climático están afectando la degradación física y disminuyen la calidad física del suelo. La sequía agrava la degradación de tierras y el cambio climático agravará las diferentes formas de sequía. Agua es el problema. Aunque el suelo es en su mayoría menos de 1m de espesor, el volumen de agua que retiene excede el volumen de agua en los ríos del mundo. La habilidad del suelo para retener agua es importante para satisfacer el requerimiento para el crecimiento de vegetación, especialmente porque la lluvia tiende a ser más intermitente e irregular debido al cambio climático. Las propiedades físicas del suelo y los procesos físicos de la precipitación y el flujo de la misma son afectados por el cambio climático. El suelo no es un cuerpo aislado, sino que interactúa con la atmósfera que contiene el aire y otros gases, luz y energía, el último refiriéndose al cuarto elemento en la naturaleza, 'el fuego'. Importante es la interrelación entre el suelo y el microclima. La radiación solar que llega a la superficie de la tierra es parcialmente reflejada y parcialmente absorbida. La energía absorbida es transferida para calentar el suelo y el aire y también como evapotranspiración. Una fracción de la energía solar entrante va a la fotosíntesis, el proceso más crucial en el ciclo 'natural' o 'biológico' o 'físico', el cual también es fuertemente afectado por el cambio del clima. La principal causa del cambio climático global es la emisión de gases provenientes de la combustión de fuentes de energía fósil, que provocan el denominado "efecto invernadero". La vegetación, a través de la fotosíntesis, transforma energía solar en energía química absorbiendo CO₂ del aire para fijarlo en forma de biomasa y libera a la atmósfera oxígeno (O₂).

PHYSICS AND CLIMATE CHANGE

Keywords:

Climate change
Physic degradation
Drought
Physical process

SUELOS ECUATORIALES
40(1): 19-24

ISSN 0562-5351

ABSTRACT

Physics is the study of nature and its four components: earth, air, water and fire. Earth refers to the soil and its organisms. The earth physics is the soil physics with its physical processes affected by human activities and climate factors. The human activities and the climate change are controlling the soil physical degradation and diminishing the soil physical quality. Drought worsens land degradation and climate change exacerbates the different ways of drought. Water is the problem. Although soil is less than 1 m of depth, the volume of water retained in soils exceeds the volume of water in the rivers of the world. The capacity of soil to retain water is quite important to satisfy plant water requirement, especially when rain trends to be more irregular and intermittent due to climate change. Soil physical properties and physical processes as precipitation and soil water flux are affected by the climate change. The soil is not an isolated body, but it interacts with atmosphere that contains air, light and energy, the latter is precisely the fourth element of nature, fire. It is very important the interactions between soil and the (change of) microclimate. Solar radiation that comes to the earth surface is partially reflexed and absorbed. The absorbed energy is transferred to warm up soil and air and also used in evapotranspiration. A fraction of the incoming solar energy goes to photosynthesis, the most relevant natural/biological/physical process, which is strongly affected by climate change. The main cause of the global climate change is the gas emission from fossil fuels combustion that produces the called "greenhouse effect". Plant, through photosynthesis, transforms solar energy into chemical energy absorbing CO₂ from air to fix it into biomass and releasing O₂.

Recibido: Mayo 2010
Revisado: Agosto 2010
Aceptado: Septiembre 2010

[‡] Trabajo presentado en el XIV Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo.

INTRODUCCIÓN

La Física es el estudio de la naturaleza con sus cuatro elementos: tierra, aire, agua y fuego. **Tierra** se refiere al suelo y la física de la tierra es la “Física del Suelo”, con los procesos físicos afectados por el impacto de la actividad del hombre y los factores climáticos. La habilidad del suelo para retener **agua** es importante para satisfacer el requerimiento para el crecimiento de vegetación, especialmente porque la lluvia tiende a ser más intermitente e irregular debido al cambio climático. El suelo interactúa con la atmósfera que contiene el **aire**, luz y energía, el último refiriéndose al cuarto elemento en la naturaleza, ‘**el fuego**’.

EL CAMBIO CLIMÁTICO

¿Cuál es la gran diferencia entre los cambios que ocurrieron en el pasado y los que producirán el actual cambio climático? El cambio climático que estamos viviendo como producto de la actividad humana va a tener consecuencias muy distintas en las especies que las que tenían los cambios climáticos del pasado, fundamentalmente porque la tasa de cambio climático no tiene precedentes: el cambio actual es rápido, acelerado y ocurre a una tasa mucho mayor a la que existió en el pasado. Existen claras evidencias que demuestran la ocurrencia de cambios climáticos globales marcados a escalas grandes de tiempo. Estos cambios a largo plazo han tenido efectos importantes en el desarrollo de paisajes y la distribución de suelos, animales y plantas. Muchos factores controlan e influyen el clima a escala global, regional y local. Es ampliamente conocido que las actividades humanas tienen un impacto importante sobre el clima. La principal causa del cambio climático global es la emisión de gases provenientes de la combustión de fuentes de energía fósil, que provocan el denominado “efecto invernadero o invernadero”. Durante las últimas décadas se ha descubierto que las actividades humanas como la quema de combustibles fósiles, el cambio de uso del suelo y la agricultura están incrementando las concentraciones atmosféricas de gases invernadero (que tienden a calentar la atmósfera) y en algunas regiones aerosoles (partículas microscópicas suspendidas en el aire, que tienden a enfriar la atmósfera). El incremento en la concentración de gases invernadero desde tiempos preindustriales (desde 1750 aproximadamente), ha ocasionado un forzamiento de radiación positivo sobre el clima, que ha ocasionado que la superficie terrestre se caliente y produzca a su vez otros cambios en el clima. La concentración atmosférica de gases, como el bióxido de carbono (CO₂) (Figura 1), metano (CH₄) y óxido nítrico (N₂O), entre otros, se han incrementado

en: 30%, 145% y 15%, respectivamente (datos de 1992). Estas tendencias pueden ser atribuidas a actividades humanas, principalmente al uso de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas propano), cambio en el uso del suelo y la agricultura.

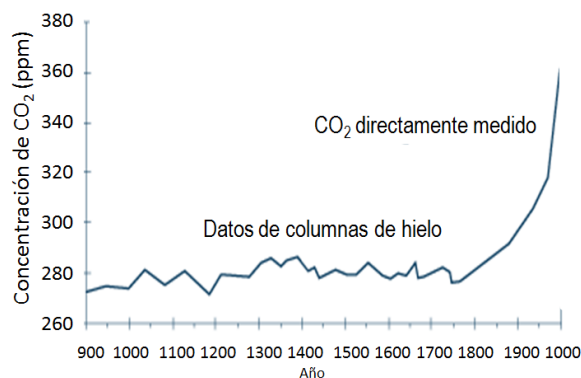


Figura 1. Concentraciones de CO₂ medidas a lo largo del último milenio.

La vegetación, a través de la fotosíntesis, transforma energía solar en química absorbiendo CO₂ del aire para fijarlo en forma de biomasa, y libera a la atmósfera oxígeno (O₂). La transpiración de las plantas a través de sus estomas es manejada por la energía, la humedad atmosférica y la turbulencia; las plantas pueden controlar parte de la transpiración sobre todo cuando el agua es limitante. La conductancia estomática, en muchas plantas, es baja cuando el déficit de presión de vapor cerca de las hojas aumenta, la temperatura sube, o menos agua está disponible para las raíces y la transpiración baja. Sobrepuesto a esta variación corta en la conductancia estomática está el efecto de las concentraciones de CO₂ atmosférico. Las concentraciones de CO₂ aumentadas reducen la conductancia estomática en las plantas C3, que incluye virtualmente todas las plantas leñosas y céspedes templados y cultivos. La eficiencia de uso de agua por las plantas (o uso de agua por la unidad de biomasa) por consiguiente puede aumentar substancialmente, produciendo una reducción en la transpiración (Morison 1987). Sin embargo, también pueden asociarse las concentraciones más altas de CO₂ con el crecimiento de la planta aumentado, compensado por una eficiencia de uso de agua aumentado; de esta manera las plantas también pueden aclimatare a las concentraciones de CO₂ más altas.

EL CAMBIO DEL SUELO

El “cambio del suelo” es una variación temporal en las propiedades del mismo en una situación específica.

Esta variación temporal es determinada para escalas de tiempo diferentes. Las propiedades del suelo surgen como resultado de la pedogénesis. De aquí que el cambio del suelo, como una función de factores formadores de suelo, ocurre por encima de la escala de tiempo pedogenética (períodos de unos millones de años), tal como lo muestra Tugel *et al.* (2005) en la figura 2.

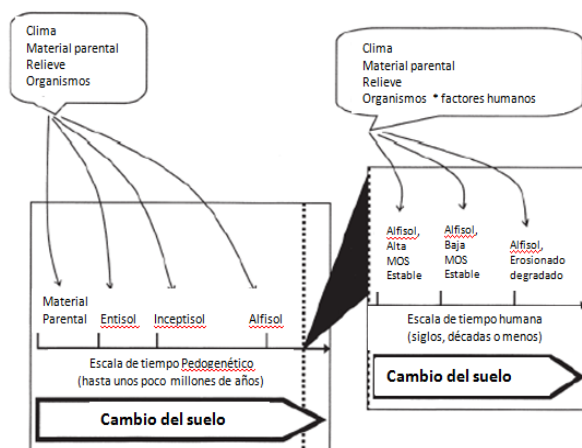


Figura 2: Cambios en el suelo a escala humana y pedogenética. (Tugel *et al.* 2005).

Las actividades humanas y el cambio climático están afectando la degradación física y disminuyendo la calidad física del suelo. La sequía agrava la degradación de tierras y el cambio climático agravará las diferentes formas de sequía. El suelo es un factor dominante de los ecosistemas terrestres en las zonas semiáridas y sub-húmedas secas, particularmente a través de su efecto sobre la producción de la biomasa. La *desertificación* procederá cuando el suelo no puede proporcionar a las plantas espacio para el enraizamiento, agua y nutrientes. El suelo se degrada irreversiblemente cuando la profundidad enraizable del suelo no es capaz de sostener una cierta cobertura de vegetación mínima. Dos profundidades del suelo, muy importantes para protección de la tierra, pueden distinguirse, la profundidad crítica y la profundidad crucial del suelo. La profundidad crítica puede definirse como la profundidad del suelo en que la cobertura de plantas alcanza valores por encima del 40%. En suelos con menos de esa profundidad, la recuperación de la vegetación perenne natural es muy baja y los procesos erosivos pueden ser muy activos, produciendo la degradación extensa y la desertificación. Mientras la profundidad crítica puede ser un límite para el cultivo, la profundidad crucial puede definirse como la más pequeña profundidad del suelo en que la vegetación perenne ya no puede

apoyarse, y la estructura del suelo completa es rápidamente llevada lejos por erosión hídrica o eólica.

El cambio del suelo es también manejado por factores naturales como el cambio del clima, el uso y manejo humano, o sus impactos combinados. De aquí que el suelo (el cambio) es el resultado de (los cambios en) el clima, organismos, topografía, y material parental actuando a través del tiempo. El aumento de la actividad humana ha alterado dramáticamente el tipo, intensidad y proporción de cambio para muchos suelos. El cambio es el resultado de la variación en fuerza física o energía, si la fuerza es el clima, en una década o anualmente, o el uso de un arado o tractor en una escala de tiempo estacional. Los ejemplos de fenómenos naturales y las acciones humanas incluyen sequía, fuego, inundaciones, tornados, cultivo, fertilización, riego, roza. La escala de tiempo 'humana' se refiere a períodos de siglos, décadas o menos. Se considera el suelo como 'dinámico', porque las propiedades del suelo cambian por encima de la escala de tiempo humana. Los factores humanos pueden manejar la degradación de un Alfisol de un estado de alto contenido en materia orgánica del suelo (MOS) a un estado de bajo contenido en MOS y en el futuro a una fase de suelo erosionado o degradado (Figura 2).

LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

La variabilidad de la precipitación

La variabilidad climática se refiere a la variación año tras año de un parámetro individual del clima, especialmente la precipitación y la temperatura, alrededor de los valores medios de largos períodos de tiempo. Pero también las variaciones interanuales de la precipitación tienen un gran impacto sobre la degradación de la tierra. Sin embargo, también se ha ilustrado que las "tierras secas" experimentan períodos por encima y por debajo de la precipitación promedio, así como años individuales con marcado exceso y déficit de lluvia. El patrón de lluvia del NE de Brasil (1900-2000), por ejemplo, muestra variaciones dramáticas de lluvias anómalas en períodos cortos. 1917 fue un año extremadamente húmedo, pero en 1915 y 1919 se experimentaron sequías severas y extremas, y en la mitad de los 80's mostraron años de lluvia altamente positiva, en contraste con el déficit severo en 1983. Una observación común en zonas áridas es la ocurrencia de una variabilidad climática entre un año y otro, causando sequías en algunos años y exceso de agua o inundaciones en otros. La figura 3 muestra la variación de precipitaciones registradas en La Serena, Chile durante los meses considerados como período húmedo (mayo-junio-julio-agosto),

indicando una variabilidad climática importante entre años consecutivos.

Por otro lado, la variabilidad climática ha incrementado durante las últimas décadas, demostrado por ejemplo en un incremento de la Agresividad Climática, usando el Índice de Fournier Modificado (Arnoldus 1980) durante los últimos años que indica una vulnerabilidad mayor del ecosistema a la degradación del suelo por erosión hídrica.

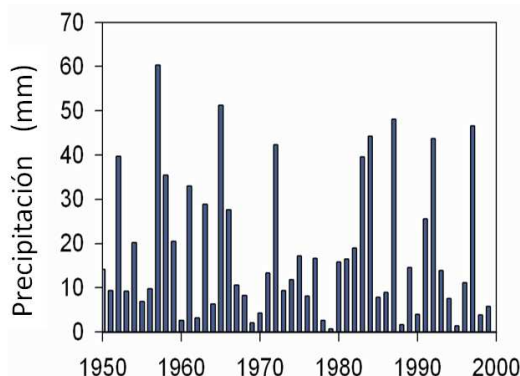


Figura 3. Precipitación total durante la temporada húmeda (mayo, junio, julio y agosto) para La Serena, Región de Coquimbo, Chile.

EL CAMBIO DE LA TEMPERATURA

La temperatura mundial

La figura 4 presenta datos de la temperatura de los últimos 150 años en comparación con el promedio, la “anomalía”, como se puede ver, en 150 años no se ha visto una temperatura tan alta. Si se mira un poco más atrás en el tiempo, parece que no se debe a uno de los ciclos naturales.

La temperatura del suelo

Hay amplios estudios y modelos que describen el efecto de cambio del clima en escala global, pero estudios sobre el efecto de cambio del clima en la temperatura del suelo están faltando. El problema está en las escalas usadas entre los modelos de clima global (los datos generalmente proporcionados en un paso de tiempo mensual a una resolución espacial de varias decenas de miles de km²) y los modelos cuenca y campo (suelo), los cuales requieren por lo menos de datos diarios o escala horaria y a una resolución de unos pocos km² o ha. La radiación solar que llega a la superficie de la tierra es parcialmente reflejada y parcialmente absorbida. La energía absorbida es transferida para calentar el suelo y el aire y también como evapotranspiración.

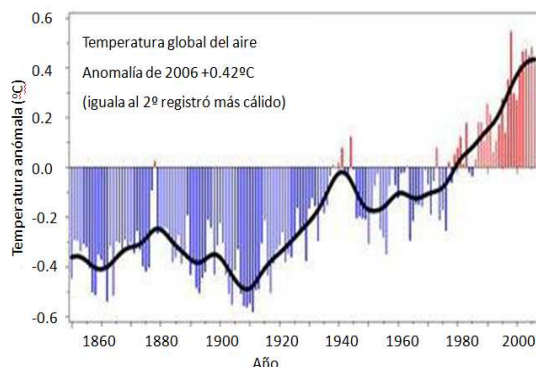


Figura 4. Temperatura global del aire (Tugel *et al.* 2005).

BALANCE DE AGUA

Las variaciones en las propiedades físicas del suelo por efecto del cambio climático van a afectar el movimiento y retención de agua, la transferencia de calor, la temperatura del suelo, el transporte químico, la actividad de las raíces y el funcionamiento de la biota del suelo (Figura 5), tal como lo analiza Ahuja (2006).

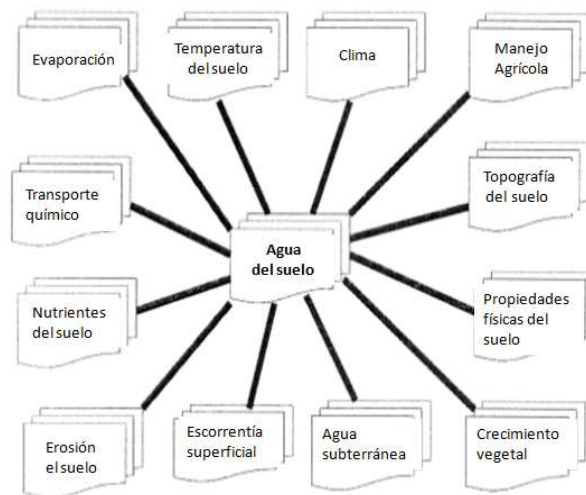


Figura 5. Rol del agua en el suelo

El agua en el suelo

Los contenidos de humedad en el suelo son directamente simulados por los modelos de clima global en una resolución espacial muy grande, y las salidas de estos modelos dan sólo una indicación de la posible dirección del cambio. Los efectos locales de

cambio del clima en la humedad del suelo, no sólo variarán con el grado de cambio del clima sino también con las características del mismo. La capacidad de almacenamiento de agua del suelo afectará los posibles cambios en los déficits de humedad del suelo; a más baja capacidad, mayor sensibilidad al cambio climático. El cambio climático también puede afectar las características del suelo, quizás a través de los cambios en los anegamientos o agrietamientos, que a su vez pueden afectar las propiedades de almacenamiento de agua. La capacidad de la infiltración y la capacidad de almacenamiento de agua de muchos suelos son influenciadas por la frecuencia e intensidad de las heladas. (Arnell y Liu 2001.)

Evapotranspiración de la superficie de la tierra.

La evapotranspiración desde la superficie del suelo incluye la evaporación del agua, suelo, agua sub-superficial poco profunda, y el agua almacenada en la vegetación, junto con la transpiración a través de las plantas. El cambio climático tiene el potencial para afectar todos estos factores de una manera combinada que no se entiende claramente en la actualidad.

Los controles meteorológicos primarios en la evaporación de una superficie bien abastecida de agua (a menudo conocido como la evaporación potencial) es la cantidad de energía disponible (caracterizada por la radiación neta), el contenido de humedad del aire (humedad -como una función del contenido de vapor de agua y la temperatura del aire-), y la tasa de movimiento del aire a través de la superficie (una función de la velocidad del viento). El incremento de la temperatura generalmente produce un aumento en la evaporación potencial, porque la capacidad de almacenamiento de agua del aire se aumenta. También es posible que el vapor de agua aumentado y menor radiación neta podrían llevar a bajar la demanda evaporativa. La ecuación empírica de Penman-Monteith-FAO calcula la evapotranspiración potencial a partir de datos meteorológicos. Sin embargo, la importancia relativa de los datos meteorológicos varía geográficamente. En las regiones secas la evapotranspiración potencial es manejada por la energía y es menos o no limitada por los contenidos de agua atmosférica. En las regiones húmedas el contenido de agua atmosférica es una limitación mayor a la evaporación, así que los cambios en la humedad tienen un efecto muy grande en la tasa de evaporación. El tipo y propiedades de la cobertura vegetal juegan un papel muy importante en la evaporación. La interceptación de la precipitación es muy influenciada por el tipo de vegetación, y diferentes tipos de vegetación tienen diferentes tasas de transpiración. Un cambio en la vegetación de una

cuenca, directamente o indirectamente como resultado del cambio del clima, puede finalmente afectar el balance hídrico en la cuenca. En pocas publicaciones se ha intentado considerar otros factores limitantes, tales como la fertilidad del suelo en función también de la concentración de CO₂ en la atmósfera y del cambio climático. El problema radica en que es difícil predecir la alteración de las propiedades químicas y físicas de los suelos en función del cambio climático a largo plazo. El uso de modelos matemáticos que simulan los procesos de formación del suelo en función de las condiciones climáticas y las prácticas agrícolas durante decenas de años tiene poca confiabilidad (Young 1994). La confiabilidad de tales pronósticos disminuye cuando el período considerado aumenta (Ruelle 1989).

MINERALOGÍA DE LAS ARCILLAS

Con el cambio climático se espera que la composición mineral de las arcillas y la mineralogía de los fragmentos gruesos generalmente cambien poco, incluso durante siglos. Las excepciones serían la transformación del material amorfo en halloysita, cuando un suelo volcánico bajo permanente humedad es sometido a secado periódico, o la deshidratación gradual de goethita a hematita en suelos sujetos a temperaturas más altas o el secado severo, o ambos. Los cambios en las propiedades de la superficie de la fracción arcilla ocurren más lentamente que el movimiento de sales, pueden tener lugar mucho más rápido que cambios en la composición o estructura del cristal. Tales cambios de la superficie tienen una influencia dominante en las propiedades físicas y químicas de los suelos (Brinkman 1990).

EROSIÓN Y EL CAMBIO DE CLIMA

La erosión es un proceso que muestra lo que ocurre durante un número grande de eventos de erosión aislados. Pero los cambios en frecuencia e intensidad de precipitación causadas por el cambio del clima afectan los procesos de erosión del suelo. Las predicciones de erosión del suelo en respuesta a los cambios en el clima exigen datos de precipitación de alta definición para dar resultados razonables. La limitación primaria para la predicción de erosión es la resolución temporal de los modelos de clima disponibles que generalmente consisten en datos diarios. Sin embargo, los modelos de erosión de suelo basados en eventos requieren de datos de entrada de resolución espacial y temporal alta, de aquí que los datos con resolución de 1 a 10 minutos normalmente no se proporcionan. Sobre todo las intensidades de eventos de lluvia extremos son difíciles de reproducir, de aquí que el impacto del cambio climático en la

frecuencia y la magnitud de procesos de erosión es difícil de evaluar hasta ahora. Debido al cambio climático se espera que la frecuencia e intensidad de estos eventos de lluvia extremos aumenten en algunas regiones que podrían llevar a muy altas tasas de erosión.

EL CAMBIO DE CLIMA EN AMÉRICA LATINA

La región latinoamericana es heterogénea en lo que se refiere a clima y ecosistemas. Los cambios de uso de tierra son las principales fuerzas y causas de cambios del ecosistema. Aunque en la mayoría de países de América Latina no hay ninguna tendencia de cambios a largo plazo en la temperatura media superficial, se han descubierto algunos cambios en la circulación atmosférica regional. Un ejemplo es la reducción en la superficie y volumen de los glaciares de Los Andes como principal contribuyente a los cambios de los torrentes en las regiones semiáridas y áridas de América del Sur. Pero hay también evidencias que la lluvia y el flujo de los ríos en otras regiones de América Latina, como la Amazonía y Norte del Brasil, sólo corresponde a la variabilidad interdecadal en el ciclo hidrológico vinculada a las influencias de los Océano Atlántico y Pacífico. El río Amazonas juega un papel importante en el ciclo de agua y balance de agua de gran parte de América del Sur, ya que aproximadamente el 50% de la lluvia se origina como agua reciclada en el bosque. Por consiguiente, es probable que la deforestación reduzca la precipitación debido a la disminución en la evapotranspiración. También se ha sugerido que bajo el cambio climático, se prevé un aumento en la ocurrencia de eventos del “Niño” con los cambios en la precipitación y temperatura asociados. Por ejemplo, las sequías severas en México en las recientes décadas. Es probable que los aumentos en la temperatura reduzcan el rendimiento de los cultivos en la región por el acortamiento del ciclo del mismo. El

cambio climático puede reducir los rendimientos de los sistemas silvícolas como resultado de los cambios en la disponibilidad de agua durante la estación seca (Mata y Campos 2001).

REFERENCIAS

- ARNELL N, LIU C (2001) Hydrology and Water Resources, 191-233 pp. In: McCarthy JJ et al. (ed.) *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, IPCC, Cambridge, UK.
- AHUJA LR, MA L, TIMLIN DJ (2006). *Trans-Disciplinary Soil Physics Research Critical to Synthesis and Modeling of Agricultural Systems*. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 311-326
- ARNOLDUS HMJ (1980) An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation, 127-132 pp. *In: DE BOODT M, GABRIELS D (ed.): Assessment of erosion*, Willey and Sons.
- BRINKMAN R (1990) Resilience against climate change? Soil minerals, transformations and surface properties, Eh, pH, 51-60 pp. *In: SCHARPENSEEL HW, SCHOMAKER M, SCHARPENSEEL HW, AYOUB A (ed.)*. Soil on a warmer earth: effects of expected climate change on soil processes, with emphasis on the tropics and sub-tropics. *Developments in Soil Science (v. 20)*, Elsevier, Amsterdam (Netherlands).
- MATA JL, CAMPOS M (2001) Latin America, 693 -734 pp. *In: Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, IPCC, Cambridge, UK.
- MORISON JIL (1987) Intercellular CO₂ concentration and stomatal response to CO₂, 229-251 pp. *In: Zeiger E, Farquhar GD (ed.) Stomatal Function*. Stanford University Press, Stanford, CA, USA.
- RUELLE D (1989) Chaotic evolution and strange attractors. The statistical analysis of time series for deterministic nonlinear systems. Cambridge University Press. Cambridge, UK, 96 p.
- TUGEL AJ, HERRICK JE, BROWN JR, MAUSBACH MJ, Puckett W, Hipple K (2005) Soil change, soil survey and natural resources decision making: a blueprint for action. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69: 738-747.
- YOUNG A (1994) Modelling changes in soil properties, 423-447 pp. *In: Soil Resilience and Sustainable Land Use*. CABI. Bristol, UK.