



UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
Facultad de Agronomía y Veterinaria

Trabajo Final presentado para optar al grado de Ingeniero Agrónomo

**LA ENERGÍA DE FORMACIÓN EN SUELOS ZONALES DE LA
REPÚBLICA ARGENTINA.**

Alumna: Rosso María Belén

DNI: 27584910

Director: Ing.Agr. M.Sc. Estela Bricchi

Co-Director: Ing. Agr. Dr. Americo Degioanni

Río Cuarto, Córdoba, Argentina

Junio 2007

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
Facultad de Agronomía y Veterinaria

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del trabajo final: **“La energía de formación en suelos zonales de la República Argentina”**

Autora: Rosso María Belén
DNI: 27584910

Director: Ing.Agr.MSc.Estela Bricchi

Co-Director:Ing. Agr.Dr.Americo Degioanni

Aprobado y Corregido de acuerdo con las sugerencias de Comisión

Evaluadora:

Ing. Agr. M.Sc. Eugenio Hampp _____

Ing. Agr. M.Sc. Alberto Cantero _____

Ing. Agr.M.Sc.Marcos Bongiovanni _____

Fecha de presentación: ____/____/____.

Aprobado por secretaría académica: ____/____/____.

Secretario Académico

A mis padres quienes me impulsaron, acompañaron y me brindan siempre todo su apoyo.

A mis abuelos

A cada uno de mis amigos y por lo que eso significa.

A mis profesores Estela Bricchi y Americo Degioanni quienes llegaron a mi corazón y me acompañaron durante el cursado y a emprender y finalizar esta investigación.

Agradecimientos

AL Ing. Jorge Adaro por brindarme los datos de radiación global.

Al Ing. Rotondo por facilitarme los datos de Evapotranspiración potencial.

Al Ing. Eugenio Hampp por su fortaleza y su intensa búsqueda intelectual.

Al Ing. Miguel Reynero por ayudarme con sus conocimientos.

A todas las personas que dedicaron su tiempo a mi formación profesional.

A la universidad Nacional de Río Cuarto.

ÍNDICE GENERAL

I-	RESUMEN	IX
II-	SUMMARY	X
III-	INTRODUCCIÓN	11
IV-	ANTECEDENTES	13
V-	HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	16
	5.1- Hipótesis general	16
	5.2- Objetivos generales	16
	5.3- Objetivos específicos	16
VI-	MATERIALES Y MÉTODOS	17
	6.1- Área de estudio	17
	6.2- Selección de la información meteorológica	17
	6.3- Selección de la información de suelos	17
	6.4- Ajuste del contenido de materia orgánica en los suelos seleccionados	18
	6.5 Metodología de calculo del índice hidrotérmico local (<i>IHT</i>), energía de formación de los suelos (Qfs) e índice de humedecimiento (K)	20
	6.6- Determinación de la capacidad productiva de los suelos	22
VII-	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
	7.1- Relación entre suelos seleccionados y las fuentes energéticas externas	23
	7.2- Energía de formación e índice hidrotérmico local a nivel de ordenes de suelos	27
	7.3- Relación entre la energía de formación e índice hidrotérmico local con el contenido de materia orgánica humificada	29
	7.4- Agrupamiento de los suelos mediante el índice de humedecimiento K	30
	7.5- Relación entre la energía de formación y el contenido de materia orgánica humificada para los suelos identificados	32
	7.6- Relación entre energía de formación e <i>IHT</i> con propiedades pedológicas de suelos zonales de las regiones pampeana y mesopotámica	34
	7.7- Relación entre la energía de formación con el índice de productividad de los suelos	39
VIII-	CONCLUSIONES	42
IX-	BIBLIOGRAFÍA	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Numero de suelos agrupados por Orden (N°) y valores promedio anuales de radiación neta (Rn), precipitación (Pp) y temperatura (T)	26
Tabla 2. Cantidad de suelos agrupados por Orden (N°), valores promedio de materia orgánica (MO), energía de formación (Qfs) e índice hidrotérmico local (<i>IHT</i>)	29
Tabla 3. Hidroseries identificadas para el área de estudio	32
Tabla 4. Valores promedio de Qfs, <i>IHT</i> y % MO para las hidroseries identificadas	33
Tabla 5. Hidroseries identificadas en las regiones pampeana y mesopotámica	34
Tabla 6. Valores promedio de distintas propiedades pedológicas, Qfs e <i>IHT</i> para cada hidroserie identificada en las regiones pampeana y mesopotámica	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapas de precipitación media anual (a), temperatura media anual (b) y Órdenes de suelos (c) de la República Argentina.	23
Figura 2. Energía de formación (Qfs) de los suelos promediada a nivel de Orden	27
Figura 3. Correlación entre energía de formación (Qfs), precipitación (Pp) (a) y radiación solar neta (Rn) (b).	28
Figura 4. Proporción de flujos energéticos entrantes de radiación neta (Rn) y precipitaciones (Pp) por Orden de suelos.	28
Figura 5. Relación entre energía de formación promedio (Qfs) y contenido promedio de materia orgánica ($MO\%$), para las hidroseries del área de estudio	33
Figura 6. Relación entre IHT y contenido porcentual promedio de materia orgánica humificada	34
Figura 7. Correlación contenido de arcilla – IHT	36
Figura 8. Correlación contenido de materia orgánica – IHT	37
Figura 9. Correlación capacidad de intercambio cationica – IHT	37
Figura 10. Correlación Ca de intercambio – IHT	38
Figura 11. Correlación Mg de intercambio – IHT	38
Figura 12. Correlación saturación del coloide – IHT	39
Figura 13. Correlación Qfs – IP	39
Figura 14. Correlación IHT – IP	40

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Principales características de suelo y clima de cada hidroserie 31

ANEXOS

Tabla Anexa 1: Suelos seleccionados de la Republica Argentina.

Tabla Anexa 2: Suelos de la Mesopotámica y la Pampa Húmeda.

Tabla Anexa 3: Índice de Productividad de los suelos de la Mesopotamia y la Pampa Húmeda.

RESUMEN

La evaluación de la energía de formación en suelos zonales posibilita explicar la distribución geográfica, las características de algunas de sus propiedades morfológicas, químicas y físico-químicas, el nivel de energía libre y la capacidad productiva de los mismo.

Los objetivos de este trabajo son determinar el valor de la energía de formación para un conjunto de suelos zonales de Argentina, analizar las relaciones entre este parámetro con la radiación solar neta y las precipitaciones, con el contenido de materia orgánica, arcilla, capacidad de intercambio catiónica, calcio y magnesio y con la capacidad productiva de los mismos. Se seleccionaron 171 y 46 individuos suelos del Atlas de Suelos y Cartas de Suelos de la República Argentina respectivamente. A partir de la información climática correspondiente a la ubicación de cada individuo suelo se calculó la energía de formación y el índice hidrotérmico local. Para establecer las relaciones cuantitativas se agruparon los suelos a nivel de órdenes (Soil Taxonomy) y en hidroséries (mediante el índice de humedecimiento). Se encontró que los suelos de menor energía libre son Aridisoles y Entisoles, los de nivel intermedio bajo Molisoles e Inceptisoles, los de nivel intermedio alto Alfisoles y Vertisoles y los de mayor energía libre Ultisoles y Oxisoles. Estos estados energéticos se correlacionan con la distribución de la precipitación media anual y ésta explica el 96% de la variabilidad de energía de formación. Por otro lado se encontró que el rango de *IHT* donde las propiedades pedológicas se expresan en sus magnitudes óptimas está entre 1,5 y 2,5 lo que corresponde a suelos desarrollados en ambientes subhúmedos con presencia de un período de déficit hídrico climático y siendo los más representativos los grandes grupos Argiudoles, Hapludoles y Haplustoles. Por último se encontró una alta correlación entre el índice de productividad de los suelos y la energía de formación. Se concluye que la metodología empleada permitió agrupar los suelos en función del nivel energético, que es factible estimar cambios en las propiedades de los suelos a partir de las relaciones encontradas y que la distribución geográfica de los suelos en nuestro País está definida por la precipitación media anual como la fuente de energía externa más importante.

Palabras Clave: energía de formación, *IHT*, precipitación, radiación solar neta

SUMMARY

The evaluation of the energy of formation in zonal soils contributes to explain the geographical distribution, the features of some of their morphological, chemical and physical - chemical properties, the level of free energy and the capacity of production.

The piece of work aims at determining the value of the energy of formation for a group of zonal soils in Argentina, analyze the relationships between this parameter with the net solar radiation and the rainfalls, with the content of organic matter, clay, cation exchange capacity, calcium, magnesium and the productive capacity of soils. 171 and 46 individual soils the Argentina were selected. The energy of formation and the local hydrothermal index were calculated taking into account the climatic information related to the location of each individual local soil. The soils were grouped in level (Soil Taxonomy) and in hydroseries (through the index humidification) so as to establish the quantitative relation.

It was found that the soils of lower free energy are Aridisols and Entisols, the soils of lower intermediate level are Molisols and Inceptisols, the soils of upper intermediate level are Alfisols and Vertisols and the soils with more free energy are Ultisols and Oxisols. These energetic states are correlated with the distribution of annual average precipitation which explains 96% of the variability of energy the formation. It was also found that the rank of *IHT* where the pedology properties are expressed in excellent magnitudes is between 1,5 and 2,5. This has to do with soils developed in subwet environments which face period of hydric deficit climatic for example Argiudols, Hapludols and Haplustols. Finally it was found a high correlation between the index of productivity of soils and the energy of formation. To conclude the methodology used allow us to group the soils according to the energy level as well as to realize that it is possible estimate changes in the soils properties taking into consideration the relations found and that the geographical distribution of soils in our Country is defined by the annual average precipitation and the most important source of external energy.

Key words: energy of formation, local hydrothermal index (IHT), rainfalls, net solar radiation

III - INTRODUCCIÓN

El suelo es un cuerpo natural producto de la interacción entre los factores de formación clima, biota, roca madre, relieve y tiempo. Durante su etapa de formación ocurren un conjunto de procesos pedogenéticos que dan por resultado a un tipo genético de suelo (Gaucher 1971) cuya ubicación geográfica está definida por la regularidad zonal de su distribución sobre la superficie terrestre. En tal sentido, existe una relación estrecha entre la ubicación geográfica de cada tipo de suelo y las fuentes de energía externa de ese sitio que dinamizaron los procesos pedogenéticos (Volobuev 1974).

La principal fuente de energía de la tierra es captada de la radiación solar. Esta energía es la que dinamiza todos los ciclos del ecosistema, particularmente el ciclo hidrotérmico y el del carbono que son dos flujos energéticos claves en la formación de los suelos. Otra fuente de energía que también es relevante en procesos de modelación del paisaje y del perfil es la gravedad.

El flujo de materia y energía entre las fuentes y la masa del suelo produce el trabajo necesario para diferenciar el perfil del mismo mediante los procesos pedogenéticos. Ahora bien, del total de energía que llega a la masa del suelo, el mayor consumo está vinculado con el ciclo hidrotérmico seguido por los procesos biológicos de transformación de la materia orgánica, los procesos físicos y químicos del intemperismo y por último, con un consumo ínfimo, los procesos de migración de sustancias solubles y en suspensión a lo largo del perfil.

Cuando el balance de flujos de energía y materia se hacen relativamente constantes, cada suelo alcanza una determinada configuración energética, o nivel de energía libre, que se expresa a través de las características de sus propiedades morfológicas, físico-químicas y químicas, en la velocidad de los flujos de energía y materia (principalmente calor, agua, carbono y elementos minerales en solución o suspensión) y en la capacidad de regular armónicamente dichos flujos. Los suelos que alcanzan altos niveles de energía libre durante su formación están altamente diferenciados de su material de origen y poseen una elevada velocidad de circulación de los flujos de materia y energía, principalmente de agua y carbono (Smeck *et al.* 1983)

Las propiedades de un suelo están directamente vinculadas con la capacidad de producción primaria del mismo por lo que la conservación o mejoramiento de tales propiedades en función de las condiciones de formación, pueden tomarse como base del principio de sustentabilidad en el marco del mantenimiento de condiciones favorables de los sistemas productivos en un nivel aceptable a través de un tiempo determinado (Bosshard, 2000 citado por Tiftonell 2004). El empeoramiento de tales propiedades, conlleva a la degradación del recurso suelo. Este efecto negativo puede ir creciendo en el transcurso de los

años, lo cual significa que las condiciones originales de la formación del suelo van perdiendo gravitación para mantener un sistema productivo sustentable.

El enfoque energético para el análisis de los procesos dinámicos que se desarrollan en los suelos y su relación con las propiedades y capacidad de producción primaria plantea un novedoso campo de estudio de cara a aportar nuevos enfoques teóricos y metodológicos para estudiar la sustentabilidad del recurso. Por otra parte, avanzar sobre una forma única de medida de los procesos naturales utilizando unidades de energía, además de posibilitar una interpretación más holística de dichos procesos, permite integrar más fácilmente este campo del conocimiento con otras ciencias que estudian problemas ambientales y de provisión energética vinculados a los procesos de desarrollo económico.

IV - ANTECEDENTES

El nivel de organización pedológica que alcanza un individuo suelo durante su formación está directamente relacionado con la magnitud de los flujos energéticos externos que circulan a través de su masa y del balance entre los procesos de acumulación y disipación de energía interna (Smeck *et al.* 1983).

Runge (1973) propuso un modelo factorial sobre la base del análisis de los flujos energéticos vinculados con el ciclo del agua y de la materia orgánica. Este modelo, si bien no utiliza unidades energéticas en términos físicos, permite explicar entre otros aspectos de la génesis, la meteorización del material de origen mediante la formulación de un índice de intemperismo. Recientemente, Schaetz y Schwenner (2006) aplican este modelo factorial para explicar la distribución y génesis de suelos del Orden Espodosoles en el Pictured Rocks National Lakeshore de Michigan (USA), mediante la formulación de índices de intemperismo y podzolización.

Rasmussen *et al.* (2005) desarrollan un modelo energético para la predicción de ambientes pedogenéticos y propiedades de los suelos (contenido de arcilla y carbono) sobre la base de los flujos de entrada de energía al suelo por la precipitación y la producción primaria neta. Se aplicó para determinar el total de energía ingresada en los órdenes de suelos de 8 estados de USA pudiendo establecer que proporciones del tipo de energía (por lluvias o carbono) ingresa a cada suelo y la correlación entre el flujo de energía y el contenido de C y arcilla en los diferentes órdenes de suelos. En cuanto a la capacidad predictiva del modelo presenta resultados dispares.

Volobuev (1974) al estudiar la distribución geográfica de la vegetación natural, el clima y los suelos a nivel mundial encontró una estrecha correlación entre los diferentes tipos genéticos de suelos (sin ningún tipo de intervención por uso) con un intervalo de valores promedios anuales de radiación solar neta y precipitación a los que definió como “termoseries” e “hidroséries” respectivamente. Los intervalos de la “termoserie” que se corresponde a la distribución de la intensidad de radiación solar neta, son prácticamente constantes con un incremento de 10 unidades por intervalo desde los 0 a 80 Kcal cm⁻² año⁻¹. En el caso de la distribución de la precipitación media anual, los intervalos son variables y se definieron 12 en total para un rango entre 0 a 3500 mm. Por medio del tratamiento matemático de los datos de radiación solar neta y precipitación se permitió encontrar una relación entre estas características climáticas y cada tipo de proceso de formación del suelo sintetizado en un índice denominado *índice hidrotermico local (IHT)*. El mismo autor relacionó matemáticamente el *IHT* con la energía utilizada anualmente para la formación de cada tipo genético de suelo (*Qfs*).

Si bien estos principios teóricos fueron desarrollados durante los años 1930 -1970 la aplicación práctica de los mismos aparece fundamentalmente en Rusia en las publicaciones de Aydarov (1985); Aydarov *et al.*, (1987); Nikolski (1987); Aydarov *et al.*, (1990); Parfenova y Reshetkina (1995), citados por Nikolski, (1998). Se utilizó esta metodología para estudiar las relaciones entre las propiedades químicas y físicas de los suelos minerales y orgánicos en parte de Europa y Asia de la ex-URSS encontrando correlaciones entre el *IHT* con dichas propiedades y con el potencial productivo de los mismos. Se construyeron gráficas del cambio de valores de cantidad de humus y su composición, valor de pH, contenido de arcilla, limo, capacidad de intercambio catiónica, y contenido de agregados estables en agua en función del índice *IHT*. En tal sentido, encontraron que los valores máximos de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónica y arcilla corresponden a suelos que son altamente productivos y que se encuentran en la zona donde el *IHT* varía entre 0.8 y 1.

Los valores de pH de suelos en este intervalo del índice *IHT* se encuentran en un valor óptimo de 6 - 7 y la calidad agrícola disminuye donde el valor del *IHT* es mayor a 1 ó menor a 0.8. Cuando se construyeron las gráficas para suelos homólogos pero sometidos a uso agrícola durante varios años, se observó algunos cambios en sus propiedades por efecto del uso agrícola. Estas investigaciones permitieron estimar como cambia el índice *IHT* en función de las prácticas actuales de manejo del suelo, plantas y aguas en diferentes zonas climáticas de la exURSS y concluir si las prácticas agrícolas actuales mejoran o empeoran las condiciones originales de formación de los suelos (Nikolski, 1998).

Investigaciones de este tipo se realizan también en la República Mexicana. Los resultados del cálculo del *IHT* indican que los suelos con mayor potencial de producción se encuentran en zonas con clima subhúmedo, con precipitaciones de 1300 mm, y el índice *IHT* varía entre 1.0 y 1.5. En las zonas con precipitaciones anuales menores a 1300 mm y donde el índice varía entre 1.5 y 2.5 se obtuvieron valores máximos de arcilla y CIC. En zonas áridas y semiáridas donde el *IHT* varía entre 2.3 y 3.7 se presentaron los suelos con mayor contenido de fósforo y potasio. EL valor máximo de saturación de bases lo tienen los suelos en la zona más árida con *IHT* mayor a 3. Los valores mínimos se encuentran en las zonas húmedas y subhúmedas con valores menores 1.5 del *IHT* (Contreras *et al.*, 2002).

En general la productividad agrícola potencial aumenta proporcionalmente al aumentar la energía total de formación del suelo (Volobuyev, 1974; Aydarov *et al.*, 1990, citados por Nikolski, 1998) pero corresponde a valores diferentes de *IHT*. Por ejemplo, Tetumo-García *et al.*, (2001) encontraron que el *IHT* en suelos bajo riego en México varía desde 0.8 hasta 10 y el mayor nivel productivo de estos suelos se alcanza con valores de *IHT* entre 1 y 2.5.

En nuestro País no hay antecedentes sobre la aplicación de este enfoque teórico y metodológico a excepción del curso de postgrado *El suelo como sistema energético* en el

marco de la Maestría en Ciencias Agropecuarias FAV – UNRC en el que se desarrolla esta temática. En tal sentido, se considera relevante la ejecución del presente trabajo a los efectos de introducir aspectos energéticos en el estudio de los suelos y perfilar nuevas líneas de investigación en este campo científico.

V - HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

5.1 Hipótesis

- La distribución geográfica de los principales tipos genéticos de suelos en Argentina es explicada por la variación de la radiación solar neta y la precipitación anual sobre el territorio continental.
- Existen relaciones cuantificables entre el índice hidrotérmico local y algunas propiedades pedológicas en suelos zonales de Argentina.

5.2 Objetivos generales

- Analizar la relación entre el índice hidrotérmico local y la energía de formación con diferentes propiedades químicas y físico-químicas de los suelos zonales seleccionados.
- Analizar la relación entre la capacidad productiva de los suelos con el índice hidrotérmico local y la energía de formación.

5.3 Objetivos específicos

- Seleccionar un conjunto de suelos zonales representativos de las regiones ecológicas de la República Argentina.
- Cuantificar el valor del índice hidrotérmico local y de la energía de formación para los suelos seleccionados.
- Establecer relaciones cuantitativas entre el índice hidrotérmico local y la energía de formación con propiedades químicas y físico-químicas para los suelos seleccionados.
- Establecer una relación cuantitativa entre el índice hidrotérmico local y la energía de formación con el Índice de Productividad (IP) de los suelos seleccionados.

VI - MATERIALES Y METODOS

6.1 Área de Estudio

El área de estudio del presente trabajo es gran parte del territorio continental Argentino. Tal extensión posibilita recabar información de una amplia diversidad de ambientes, donde alternan ambientes con clima árido hasta climas húmedos con variados tipos de comunidades vegetales: estepas, praderas, bosques. Las provincias que integran esta extensión son: Jujuy, Salta, Tucumán, Catamarca, Formosa, Chaco, Santiago del Estero, Misiones, Corrientes, Entre Ríos, Santa Fe, Córdoba, Buenos Aires, La Pampa, La Rioja, San Juan, San Luís, Mendoza, Neuquén, Río Negro, Chubut, Santa Cruz y Tierra del Fuego.

Para establecer los puntos de muestreo de la información meteorológica y edáfica se realizó una transecta en dirección Norte a Sur abarcando las 23 provincias que componen el área de estudio.

6.2 Selección de la información meteorológica

Los valores de precipitación y temperatura media anual para el territorio continental argentino fueron tomados de mapas normales de isoyetas e isotermas (1961-1990) publicados por el Servicio Meteorológico Nacional (www.meteofa.mil.ar).

La radiación global anual se obtuvo de la carta solarimétrica anual de Grossi Gallegos (1997). Esta carta fue confeccionada con información obtenida de 41 estaciones de medición de la Red Solarimétrica Argentina dando lugar a mapas de isolíneas de radiación global mensual y anual expresadas en kWh m⁻² día⁻¹ (Grossi et al., 1985; Grossi Gallegos et al. 1986a, Grossi Gallegos, 1986b; Grossi Gallegos 1998).

Los valores de Evapotranspiración Potencial media anual para el territorio continental argentino se obtuvieron de la carta calculada por el método de Penman – Monteith- FAO para la serie de datos 1971-2000 (Serio et al., 2006).

6.3 Selección de la información de suelos

A partir del Atlas de Suelos de la República Argentina (1990), (Esc. 1:500000 y 1:1000000), se identificaron las unidades cartográficas más representativas (en extensión) y en estas se seleccionaron 176 individuos suelos (por Subgrupos) ubicados en pendientes menores del 10%, sin sales ni álcalis, como tampoco capa de agua a profundidad crítica y se procedió a tomar el dato de MO en %.

Por otro lado se seleccionaron para la región Pampeana y Mesopotámica 43 individuos suelos (zonales), a partir de Cartas de Suelos (Esc. 1:50000), donde se relevaron datos tales como: MO (%), porcentaje de arcilla menor de (2μ), capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), contenido de Calcio y Magnesio intercambiables y porcentaje de saturación de bases. Toda la información relevada fue cargada en la planilla de cálculos Microsoft Excel (Office 2003).

6.4 Ajuste del contenido de materia orgánica en los suelos seleccionados

La cantidad de MO contenida en un suelo particular es una función del balance entre la velocidad de deposición de residuos vegetales sobre o dentro del suelo y la velocidad de mineralización por la biota. Los niveles de MO en un suelo no incrementan indefinidamente sino que tienen un valor de equilibrio según los factores de formación del clima, biota (vegetación y organismos) material originario, tiempo y topografía (Post et. al., 1990).

En condiciones naturales la materia orgánica del suelo se acumula como material vegetal y humus. Ambas tienen su origen en la producción primaria neta anual de la vegetación prístina de cada tipo de suelo. El total de energía acumulada en ambos tipos de materia orgánica depende de la energía solar acumulada anualmente en la masa vegetal y ello depende de la energía total de formación dinamizada anualmente y de la disponibilidad de agua en cada tipo de suelo. A tal efecto, analizar la relación entre el contenido de humus y la energía de formación en las condiciones actuales de los suelos donde se ha reemplazado la vegetación nativa y ha disminuido significativamente los niveles de humus, tal lo indica una importante cantidad de investigaciones, puede resultar un análisis sesgado. Es por ello que, para corregir en parte esta situación, es necesario aproximar el valor de materia orgánica en la condición natural.

Hevia *et al.*, (2004) encontraron disminuciones de materia orgánica entre el 56 y 59% al comparar suelos vírgenes bajo monte de caldén y bajo un historial agrícola de 30 años en la región semiárida argentina.

En un Hapludol típico del Dpto. de Río Cuarto (Cba) se determinó en los 12 cm superiores del suelo cultivado pérdidas de MO del 65% en 90 años (Bricchi 1996). Estos resultados coinciden con los indicados por Fenton *et al.* (1999); Moreno *et al.* (1996); Bricchi *et al.* (2000); Bongiovanni *et al.* (2000); Diaz Zorita (1996) quienes encontraron diferencias del 44-65% entre suelos no alterados y cultivados (Citados por Verri 2004).

Verri (2004), en un Hapludol típico franco arenoso muy fino, también del dpto. de Río Cuarto indicó que el contenido de MO del perfil cultural se redujo entre un 60% y un 56 % con diferentes usos y labranzas, en relación al sitio con mínima

alteración tomado como referencia. En este mismo suelo Bricchi *et al.*(2004) en la porción superior del perfil cultural encontraron que la mayor pérdida (del orden del 80%) se produce en LC y cuando los residuos son pastoreados, mientras la disminución fue levemente inferior (del 77 %), en SD y LR y en las situaciones sin pastoreo de rastrojos. Se sabe que los suelos fueron cultivados aproximadamente 80 años, y en este sentido los valores de pérdida de MO encontrados son semejantes a los de Fenton *et al.* (1999) el cual calculó 77% de pérdida para 74 años de uso.

Así Fenton *et al.* (1999) calcularon para la parte superior del suelo pérdidas de MO del 44 % en los primeros 28 años y del 33 % en los siguientes 46 años, a partir de los cuales se alcanzó un nuevo equilibrio (citado por Bricchi *et al.*,2004)

Powlson y Johston (1994) citados por Verri (2004), encontraron en un clima templado y en un suelo de textura franco arenosa con 10 % de arcilla, un valor del 60 % de disminución de MO en 100 años de uso; mientras que para la misma condición climática pero en suelo de textura franco-arcillo-limosa con 20 % de arcilla, con un valor inicial menor, el porcentaje de pérdida se redujo a la mitad, para el mismo período.

Tiessen *et al.* (1982) también citados por Verri (2004), demostraron que suelos con praderas de gramíneas pierden entre el 30-50 % de MO luego de ser cultivados por 40-50 años, mientras que Havlin *et al.* (1990) indicaron que dichas pérdidas se relacionaron con la intensidad de labranza.

Angers, *et al.* (1992) citado Vetorello *et al.* (2004) encontraron valores del 40-50% de reducción de la MO respecto a la situación original, lo cual coincide con lo obtenido por Vetorello *et al.* (2004) en un Haplustol típico de la provincia de Córdoba, quienes observaron reducciones en los diferentes sistemas de labranzas que variaron entre 43 y 49% respecto a la situación natural (Monte).

En los suelos Vertisólicos de la Provincia de Entre Ríos, la MO mostró una disminución con los años de cultivo que fue mas pronunciada después de 20-25 años, llegando a perdidas de 20-26 % comparado con la situación original de bosque (Conti, 2004). Por otro lado Ciarlo, *et al.* (2004) en este mismo tipo de suelos y bajo el efecto de la agriculturización, encontraron descensos en el contenido de MO del 56 % con respecto al suelo prístino coincidiendo con lo reportado en otros Vertisoles, donde el contenido de MO desciende con el uso agrícola (Dalal y Mayer, 1986; Chan *et al.*; 1988; Chan, 1997; Conti *et al.*; 1999, citado por Ciarlo 2004).

El monocultivo de maíz y trigo con remoción total de residuos de cosecha durante 35 años produjo pérdidas del 23-28 % de MO, mientras que en los siguientes 40 años con retorno de residuos al suelo se produjeron incrementos continuos, superando en algunos casos los valores iniciales (Bauer y Black, 1981; Buyanovsky *et al.*, 1996 citado por Bricchi *et al.*, 2004).

En suelos de la provincia del Chaco la MO disminuyó con respecto al estado natural, entre el 46 % y 53.3 % en 30 años de usos agrícola (Gutierrez, 2001).

Campbell y Souster (1982) y Tiessen *et al.* (1982) demostraron que suelos con praderas de gramíneas pierden del 30-50% de su MO original luego de ser cultivados por 40-50 años (citado por Moreno, 2000).

La implantación de cultivos en el norte de Great Plains de Norteamérica, interrumpió el estado estacionario y se produjeron pérdidas de MO que en promedio fueron del 20 % (Bremer *et. at.*, 1995 citados por Moreno 2000).

Investigaciones realizadas en Canadá en la década del 70, sobre la disminución de la MO desde que los sistemas nativos fueron convertidos en agrícolas, muestran en la región de praderas caídas de alrededor del 70% (Gregorich, 1996 citado por Moreno 2000).

Por todo lo expuesto y para ajustar el valor de materia orgánica que se encuentra en la información relevada, en primer término, se estableció una equivalencia de vocabulario: carbono orgánico; carbono orgánico total, MO. En segundo lugar, al valor de carbono orgánico (CO) se lo transformo a MO utilizando el coeficiente 1,72 a partir de la siguiente ecuación: % MO = %CO * 1.72. En tercer lugar se siguieron los siguientes pasos para ajustar el contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónica y saturación con bases del estado actual al estado natural (sin intervención del suelo por uso):

- a. Se estableció, de acuerdo al uso actual del suelo y considerando cada uno de los Ordenes, un incremento en el valor del % MO entre 50-80% para uso agrícola y 20-30% ganadero y forestal extractivo según bibliografía de referencia.
- b. Al incremento de la MO se lo afecto por 2 o 2.5 meq/g para corregir la CIC (según los tipos de suelos y tipos de humus consecuentes).
- c. Con los datos originales se procedió a recalcular el porcentaje de cada base
- d. A partir del valor de CIC ajustado se procedió a estimar los meq de cada base respetando la saturación de los datos originales, según el punto c.

6.5 Metodología de cálculo del índice hidrotérmico local (IHT), energía de formación de los suelos (Qfs) e índice de humedecimiento (K)

Para el cálculo del *IHT*, *Qfs* y *K* se utilizaron los modelos matemáticos propuestos por Volobuev (1974). El *IHT* surge de la relación entre la radiación neta y la precipitación media anual de cada ambiente pedológico cuya expresión matemática es la ecuación [1]:

$$IHT = \frac{Rn}{LPp} \quad [1]$$

Donde: *L*: calor latente de evaporación del agua (0,591 Kcal.gr⁻¹) ó (2.51 KJm⁻²mm⁻¹),
Pp: precipitación efectiva media anual (mm año⁻¹).

La radiación neta media anual (Rn) se calcula mediante la ecuación [2]

$$Rn = Rg (1 - \alpha) + Re - Rs \quad [2]$$

Donde: Rg : radiación global a nivel del suelo, α : albedo (0,2 para praderas – 0,15 para bosques), Re : radiación de onda larga entrante que surge del producto entre la constante de Stefan Boltzmann ($5.7 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$) y la cuarta potencia de la temperatura media anual en grados Kelvin y Rs : radiación de onda larga saliente que surge del producto entre Re y el coeficiente de emisividad de la tierra (0,805).

El cálculo de la energía de formación de los suelos se realizó con la ecuación [3]:

$$Qfs = Rn e^{(-0.47 IHT)} \quad [3]$$

Donde: Qfs : energía de formación del suelo ($\text{kcal.cm}^{-2}.\text{año}^{-1}$), Rn : radiación neta media anual ($\text{kcal.cm}^{-2}.\text{año}^{-1}$), e : base logaritmo natural (constante 2.718), IHT : índice hidrotérmico local (adimensional).

A los fines de agrupar los suelos con similares características tanto climáticas como edáficas, disminuir la variabilidad de los datos edáficos y relacionar estos con los valores de IHT y Qfs , se procedió a calcular el índice de humedecimiento K que surge de la relación entre los valores promedio anuales de la precipitación efectiva (Pp) y evapotranspiración potencial (E_0) en (mm año). (Ecuación [4]).

$$K = \frac{Pp}{E_0} \quad [4]$$

Para diferentes valores de K se corresponde una determinada hidroserie que es la que establece la dependencia entre la formación de cada tipo genético de suelo con las condiciones climáticas de radiación solar, temperatura y precipitación.

La identificación de los valores de las variables meteorológicas requeridas para los cálculos se efectuó a partir de la coincidencia de la localización de los suelos y los valores correspondientes en las cartas indicadas en el punto 6.2. Se efectuaron los cálculos de IHT y Qfs y para el índice K de los 217 suelos seleccionados utilizando para todas las operaciones la planilla de cálculo Microsoft Excel (Office 2003).

6.6 Determinación de la capacidad productiva de los suelos.

Para valorar la productividad de los suelos se utilizó el Índice de Productividad propuesto por Bramaio *et al.* (1970) y aplicado por INTA para la valoración de los suelos en el País.

Se trata de un método paramétrico multiplicativo que evalúa la productividad del suelo de un área y que supone depende de las características propias de cada suelo bajo un determinado manejo. En la integración de la fórmula matemática intervienen diez parámetros o factores que han sido seleccionados de acuerdo con su incidencia en el crecimiento y rendimiento de cultivos, pasturas y forestales más comunes de cada región. Considera: (H) disponibilidad de agua, (D) drenaje, (Pe) profundidad efectiva, (Ta) textura del horizonte superficial, (Tb) textura de horizonte subsuperficial, (Sa) Contenido de sales solubles, (Na) Alcalinidad sodica, (MO) contenido de Materia orgánica, (T) capacidad de intercambio catiónico y (E) erosión. La escala de valores va de 1 a 100. El índice establece 5 clases de productividad, de excelente a muy pobre en función del valor de IP.

$$IP = (H * D * Pe * Ta * Tb * Sa * Na * MO * T * E) * 100 \quad [5]$$

A partir de la información relevada se calculó el IP para los 43 suelos seleccionados de las regiones Pampeana y Mesopotamia excluyendo del cálculo los parámetros Sa, Na y E, ya que se consideran con nula incidencia puesto que se trata de los suelos que están en una condición prístina y no afectados por sales ni álcalis como se indico en el Ítem 6.3.

VII - RESULTADOS Y DISCUSION

7.1 Relación entre suelos seleccionados y las fuentes energéticas externas

En la Figura 1 (a), (b) y (c) se muestran los mapas de precipitaciones, temperatura y órdenes de suelos de la República Argentina y en la Tabla 1 se presenta un resumen de la cantidad de individuos suelos seleccionados a nivel de Orden según la información disponible y los valores promedios anuales de radiación neta, precipitaciones y temperatura.

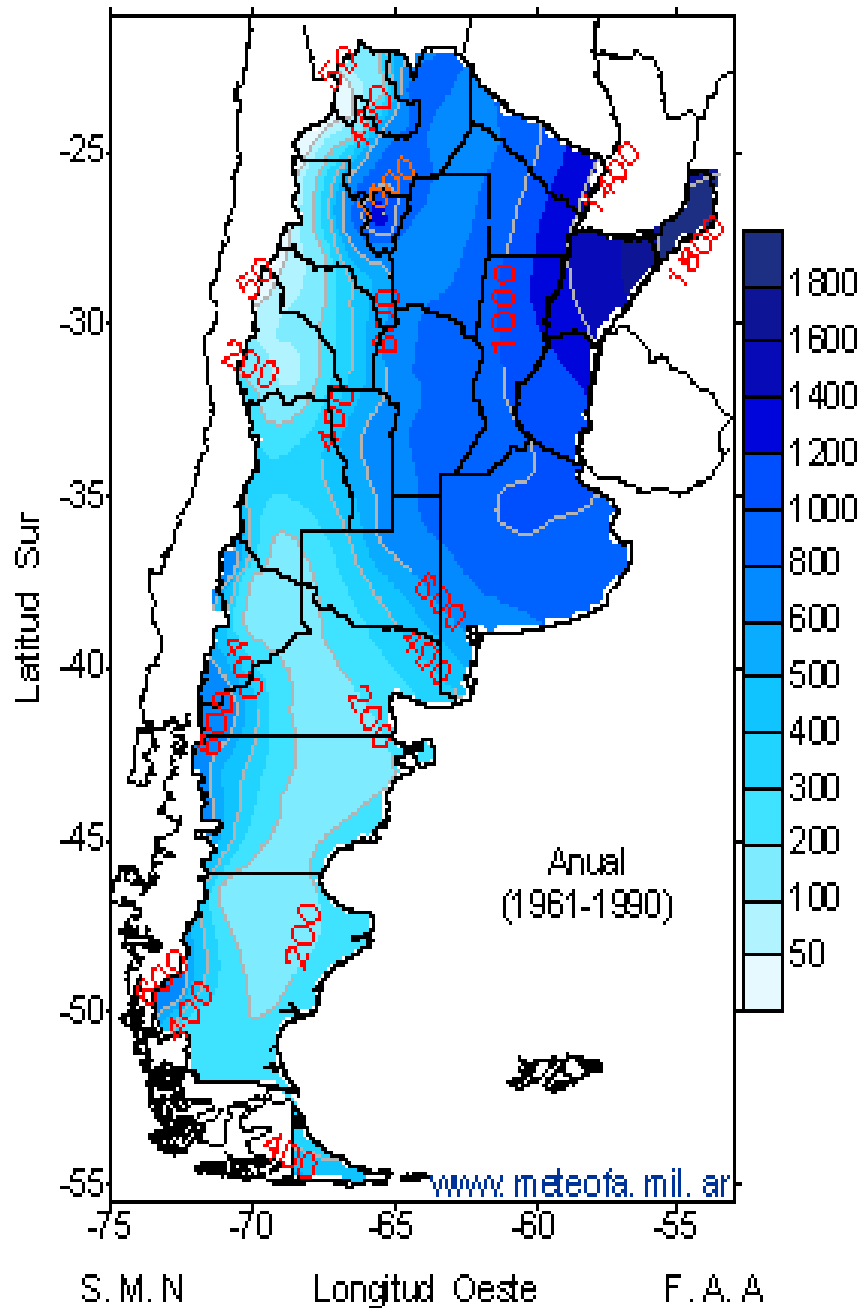


Fig. 1 (a): Mapa de precipitación media anual de la República Argentina

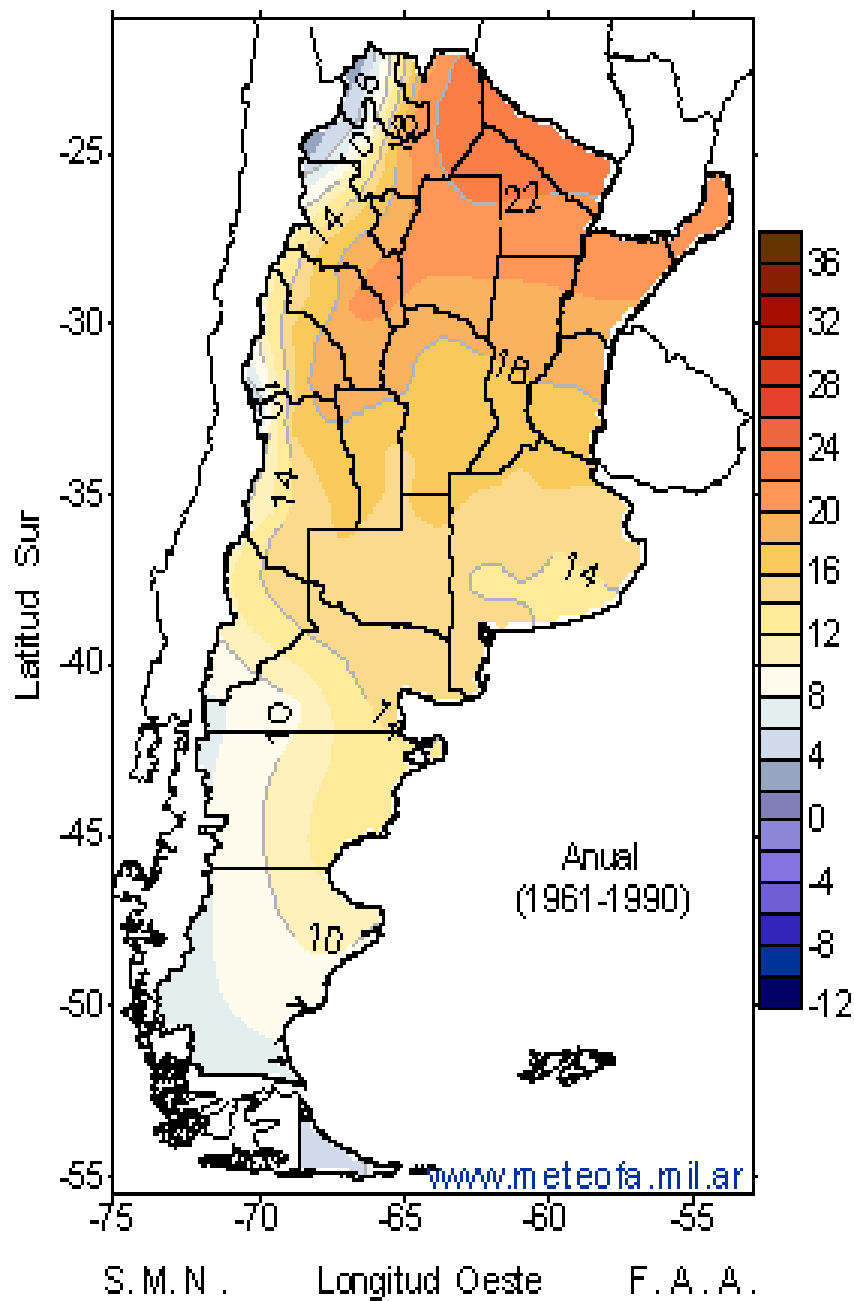


Fig. 1 (b) : Mapa de temperatura media anual de la República Argentina

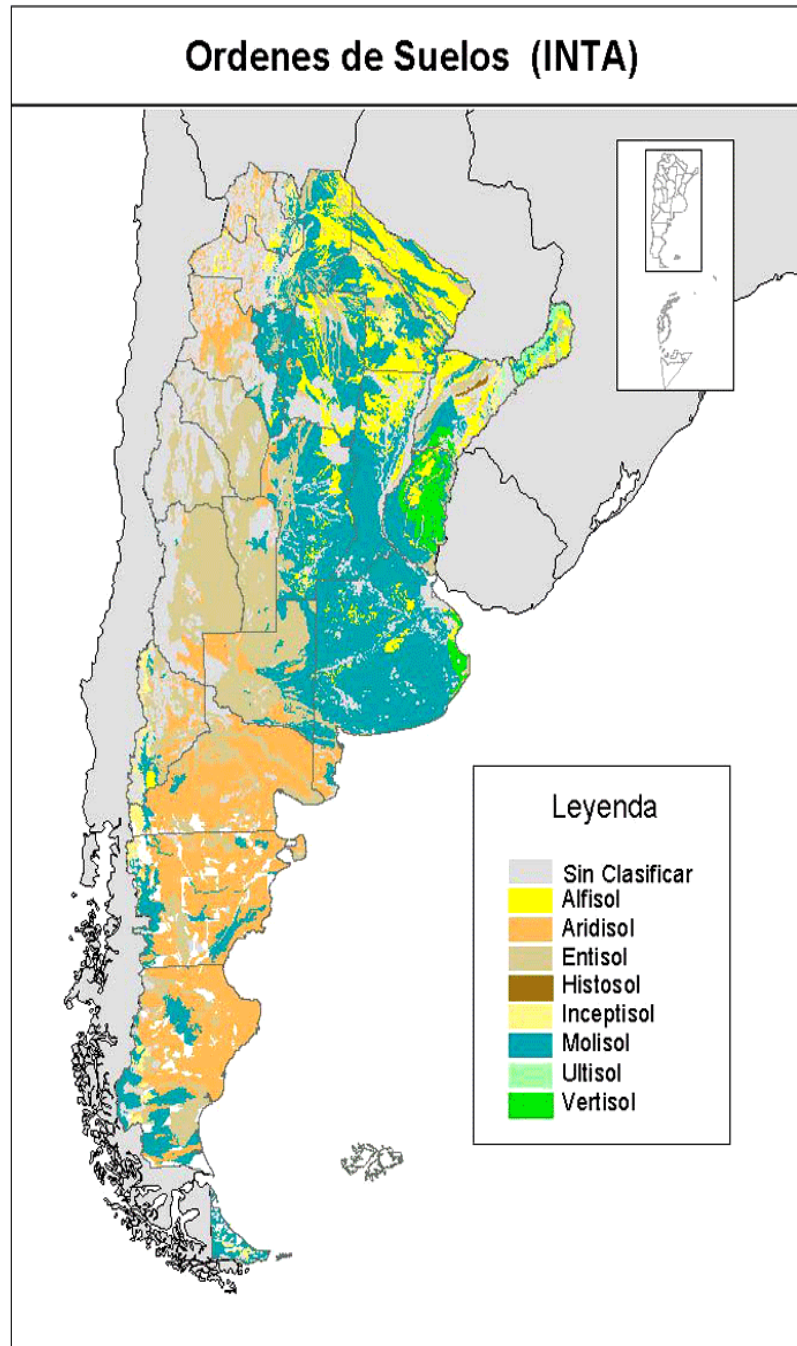


Fig. 1 (c): Mapa de Ordenes de suelos de la República Argentina (INTA) (Obtenida en: <http://ambiente.gov.ar/?aplicacion=mapoteca&disecccion=76&calapli=2>)

Tabla 1: Número de suelos agrupados por Orden (*N*•) y valores promedios anuales de radiación neta (*Rn*), precipitación (*Pp*) y temperatura (*T*).

<i>Orden</i>	<i>N</i> •	<i>Rn</i> Kcal.cm ⁻² .año ⁻¹	<i>Pp</i> mm	<i>T</i> °C
Aridisol	38	111	288	12
Entisol	55	112	483	15
Molisol	91	110	816	17
Inceptisol	7	106	814	14
Alfisol	14	118	1271	20
Vertisol	4	115	1225	18
Ultisol	7	116	1571	20
Oxisol	1	109	1800	20
Promedio		112	1033,5	17
Desv. Estándar %		3,9	50,7	18

Según el orden de importancia por la cantidad y representación areal de suelos seleccionados, se destacan en primer lugar los Molisoles (864.000 km², 31% del territorio continental e insular argentino) que se distribuyen entre los 77 y 115 Kcal.cm⁻².año⁻¹ de *Rn* (que equivale a un rango de temperatura entre 4 y 22 °C) y entre los 200 y 1400 mm de *Pp*.

Los Entisoles son los suelos de segunda importancia por la superficie que ocupan (606.000 km², 21,7% de la superficie del territorio), se encuentra distribuidos entre los 77 y 140 Kcal.cm⁻².año⁻¹ de *Rn* (que equivale a un rango de temperatura entre 4 y 22 °C) y entre los 100 y 1400 mm de *Pp*. Este orden se encuentra en condiciones de clima muy diferente. Son suelos de escasa evolución y relativamente poco dependiente del clima como factor de formación. En orden de importancia siguiente en cuanto a la superficie de ocupación son los Aridisoles (543.000 km², 19,4 % de la superficie del territorio) cuya distribución geográfica se encuentra entre 77 y 140 Kcal.cm⁻².año⁻¹ de *Rn* y 50 y 450 mm de *Pp*. Estos suelos se distribuyen en ambientes más fríos y secos del territorio. En cuanto a los Inceptisoles se desarrollan en condiciones similares a los Molisoles pero son muy poco relevantes en cuanto a su expresión geográfica (3% de la superficie continental e insular).

Por último, Alfisoles, Vertisoles, Ultisoles y Oxisoles se han desarrollado en áreas cuyo rango de precipitaciones está entre los 700 y 1800 mm y el rango de radiación neta de menor variabilidad regional: entre 100 y 120 Kcal.cm⁻².año⁻¹ (equivalente a valores de temperatura entre 18 y 24 °C). Estos suelos se han desarrollados en los sitios de mayor disponibilidad de energía externa y la representación geográfica más importante corresponde a los Alfisoles (7,5% de la superficie) seguida por los Vertisoles (1,2%), Ultisoles (0,5%) y Oxisoles.

7.2 Energía de formación a nivel de Ordenes de suelos

La energía de formación calculada para cada uno de los suelos seleccionados y promediada a nivel de orden se presenta en la Fig. 2 y en la tabla 2 donde se presentan los valores de MO, Qfs y los IHT .

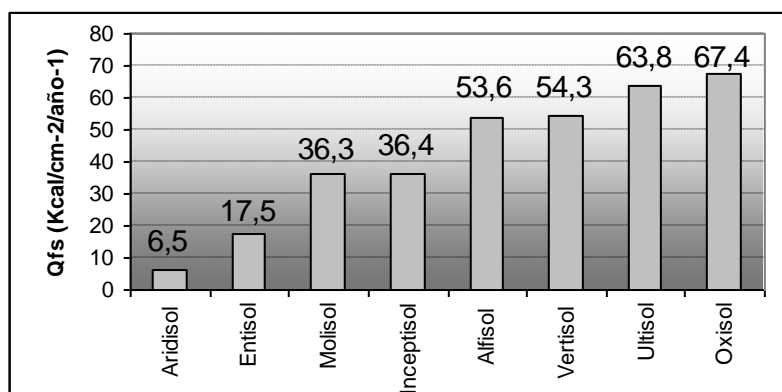


Fig. 2: Energía de formación (Qfs) de los suelos promediada a nivel de Orden

Como la energía dinamizada durante la pedogénesis de los suelos se correlaciona con el nivel energético alcanzado hacia el final de su etapa de formación, los resultados obtenidos reflejan dicho nivel. Los suelos cuya energía de formación es más baja y por ende alcanzan un menor valor de energía libre al final de la pedogénesis, son: Aridisoles y Entisoles, los de nivel intermedio bajo: Molisoles e Inceptisoles, los de nivel intermedio alto: Alfisoles y Vertisoles y, por último, los de mayor energía libre: Ultisoles y Oxisoles. Estos resultados son similares a los estados energéticos conceptuales planteados por Smeck (1983) y a los niveles energéticos calculados por Rasmussen *et. al.* (2005). Por otra parte, estos estados energéticos se correlacionan según el principio de zonalidad, con el ingreso de energía externa al sistema. Para el territorio continental argentino cuando se correlacionó la energía de formación con las dos fuentes de energía principales se encontró que la fuente de energía externa que se destaca para la formación de los suelos es la precipitación media anual pues explica en un 96% la variabilidad de energía de formación, mientras que la radiación solar no presenta relación. (Fig. 3)

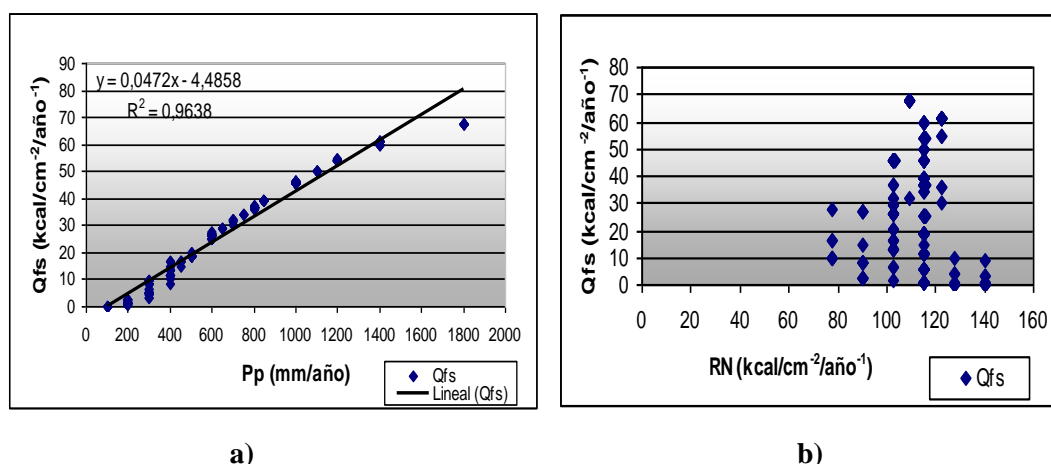


Fig. 3: Correlación entre energía de formación (Qfs), precipitación (Pp) (a) y radiación solar neta (Rn) (b)

Si se compara la proporcionalidad en el aporte de energía externa, es decir la energía aportada por la radiación neta ($Kcal.m^{-2}.año^{-1}$) y la energía aportada por la precipitación (producto entre el calor latente de evaporación y gramos de agua caída por unidad de superficie) ($Kcal.gr^{-1} m^{-2}$) para cada Orden de suelos (Fig. 4) se observa que el mayor aporte lo hace la radiación solar, pero esta disminuye con respecto a la precipitación en un 50 % con respecto al aporte energético de las precipitaciones en Oxisoles y Ultisoles, en Vertisoles y Alfisoles disminuye un 40 %, en Inceptisoles y Molisoles 30 % y en Entisoles y Aridisoles disminuye un 15 % aproximadamente.

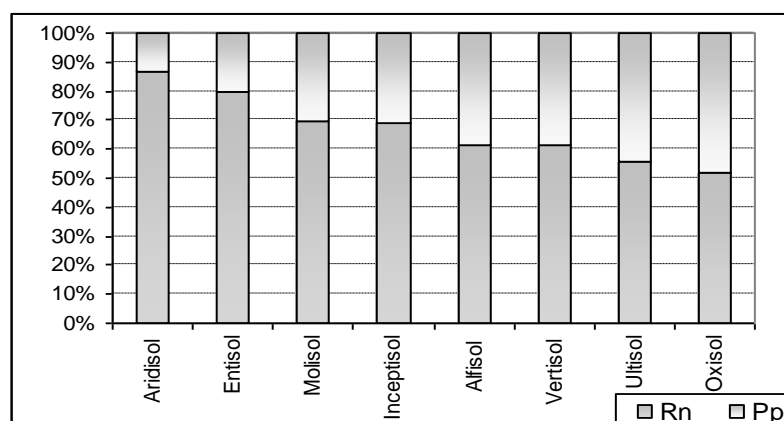


Fig. 4: Proporción de flujos energéticos entrantes de radiación neta (Rn) y precipitaciones (Pp) por Orden de suelos.

Esta proporcionalidad confirma el rol decisivo que tienen las precipitaciones en la formación de los suelos zonales en nuestro País. Esto se podría explicar porque la distribución espacial de la radiación solar tiene una relativa homogeneidad sobre el territorio continental mientras que las precipitaciones tienen una marcada variabilidad entre los valores máximos y

mínimos registrados (Tabla 1). En tal sentido se observa que el coeficiente de variación de la radiación solar y de las lluvias es 3,5% y 50% respectivamente.

7.3 - Relación entre la energía de formación e índice hidrotérmico local con el contenido de materia orgánica humificada.

Si bien la magnitud de la energía de formación Qfs es un indicador de la intensidad del flujo de carbono y su acumulación en el suelo, está se vincula más con la producción primaria del bioma vegetal (fuente de carbono) que con el contenido de materia orgánica humificada (recordar que de la energía solar que llega a la superficie terrestre solamente se utiliza entre el 1 al 5% para la producción de biomasa). En tal sentido, la fuente de carbono es solo una condición del complejo proceso de humificación (Volobuev, V 1974).

Esta característica se observa en suelos desarrollados a partir de un elevado flujo anual de energía externa Ultisoles, Oxisoles, que poseen una elevada intensidad del ciclo biológico (flujo de carbono) pero la acumulación de energía se concentra en el bioma vegetal en lugar del humus. No obstante, existe una correlación positiva entre el contenido de MO y la energía de formación del suelo tal como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2: Cantidad de suelos agrupados por Orden (N°), valores promedios de Materia Orgánica (MO), energía de formación (Qfs) e índice hidrotérmico local (IHT)

<i>Orden</i>	<i>N°</i>	<i>MO</i> %	<i>Qfs</i>	<i>IHT</i>
Aridisol	38	1,2	6,5	7,82
Entisol	55	0,8	17,5	5,75
Molisol	91	3,7	36,3	2,5
Inceptisol	7	3,6	36,4	2,54
Alfisol	14	3,6	53,6	1,76
Vertisol	4	5,3	54,3	1,6
Ultisol	7	4,1	63,8	1,28
Oxisol	1	3,6	67,4	1,02

Analizando los tres órdenes de mayor representación areal en el País: Molisoles, Entisoles y Aridisoles, se observa que a mayor energía de formación mayor es la cantidad de materia orgánica humificada. Los Molisoles poseen un contenido de materia orgánica entre 7 y 5% en los subórdenes Udoles y Boroles, un rango entre 5 y 3% en Udoles y Ustoles y entre 3 y 1% en Xeroles y Haplustoles énticos y arídicos. Este orden tiene una energía de formación promedio de 36,3 Kcal.cm⁻².año⁻¹ y se encuentran en valores de IHT promedio de 2,5 (min: 1.39 – máx: 7.62). Los Entisoles, que están en segundo orden de importancia, poseen un contenido de materia orgánica que oscila entre 2.8 y 0.13 %. La energía de

formación promedio de estos suelos es de $17,5 \text{ Kcal.cm}^{-2}.\text{año}^{-1}$ y el *IHT* promedio es 5.75 (min: 1.39 – máx: 23.72). En Aridisoles el contenido de MO oscila entre el 2.5 al 0.3% perteneciendo los valores mas elevados a los subgrupos integrados a los Molisoles (borólicos y ustólicos), la energía de formación promedio de $6,5 \text{ Kcal.cm}^{-2}.\text{año}^{-1}$ y el *IHT* promedio es 7,82 (min.: 3.81 – máx.: 23.72).

En cuanto a los otros órdenes de suelos (Tabla 2) que se han desarrollado con energías de formación superiores a los $36 \text{ Kcal.cm}^{-2}.\text{año}^{-1}$ y poseen *IHT* promedios menores de 2.5, el contenido de materia orgánica humificada oscila entre el 3.3 y 5.3% con una tendencia a la disminución en la medida que se incrementa el valor de *Qfs* tal como se indicó en el primer párrafo de este ítem.

7.4 Agrupamiento de los suelos mediante el índice de humedecimiento *K*

Debido a la dispersión de datos que se observan cuando se agrupan los suelos de acuerdo al sistema de clasificación Soil Taxonomy, se procedió a agrupar los mismos mediante el índice de humedecimiento *K* según Volobuev V. (1974). Este índice surge de la relación entre el flujo anual de ingreso y de egreso de agua al que está expuesto cada suelo (ecuación [4]). Se han establecido 7 hidroseries o intervalos de precipitación anual en el rango de 0 a 3500 mm cuyas características de clima y suelos más relevantes se indican en el Cuadro 1. Cuando se relaciona la hidroserie con las termoserias o intervalos de radiación media anual para el rango entre los 5 y $80 \text{ Kcal.cm}^{-2}.\text{año}^{-1}$ surgen 12 hidroseries.

La identificación de tipos genéticos de suelos mediante el índice de humedecimiento *K* posee una relación bastante débil con la identificación de suelos a partir de algún sistema de clasificación. Un ejemplo de ello son los Entisoles que, si bien se localizan en la hidroserie A es muy común que se pueden encontrar en otras hidroseries *K* debido a su condición de génesis como fue expresado en ítem 7.1. Lo mismo se puede indicar para los Molisoles. Esta particularidad se debería, en primer término a que los sistemas de clasificación que se explican en el Cuadro 1, no consideran la energía de formación como un atributo de clasificación. Por otro lado, el modelo desarrollado por Volobuev (1974) está fundamentado sobre el principio de zonalidad estableciendo relaciones entre la energía y los procesos generales de la génesis con independencia de otros factores de formación tal como el material originario o relieve o procesos de índole específica donde interviene con relativa intensidad la gravedad o la lixiviación ascendente entre otros.

Por lo expuesto precedentemente, si se promedian valores de propiedades de los suelos agrupándolos en función de algún nivel taxonómico del sistema de clasificación, es natural que surja una importante dispersión en los datos. En consecuencia, agrupar las propiedades de los suelos en función de este índice (independiente de su posición en la taxonomía)

asegura ubicar los mismos en el mismo grupo genético a partir del flujo anual de energía que gastan y así disminuir la dispersión en los datos que se pretenden analizar.

Cuadro 1: Principales características de suelo y clima de cada hidrosérie

<i>Hidrosérie</i>	<i>Características del clima</i>	<i>Características del suelo</i>	<i>Clasificación FAO</i>	<i>Clasificación Soil Taxonomy (1999)</i>
A	Muy cálido Muy seco	Régimen de humedad <i>tórrico</i> Régimen de temperatura <i>hipertérmico</i>	Arenosoles	Entisoles
B	Cálido y seco	Régimen de humedad <i>xerico y arídico</i> Epipedón ócrico	Xerosoles Arenosoles	Ortides
C	Templado - Subhúmedo	Régimen de humedad <i>ústico</i> ; horizontes mólico, cámbico o argílico. Carbonato de calcio a poca profundidad.	Kastañozem	Ustoles
D	Templado - Húmedo	Régimen de humedad <i>ústico - údico</i> ; con fuertes diferencias entre ciclos secos – húmedos; horizonte mólico grueso	Chernozem	Boroles
E	Templado - Húmedo	Régimen humedad <i>údico</i> ; horizontes mólico, cámbico o argílico. Carbonatos a gran profundidad.	Phaozem	Udoles
F	Cálido - Húmedo	Régimen temperatura <i>térmico</i> ; horizontes mólico y argílico saturados con bases.	Luvisoles Alisoles	Alfisoles
	Frío - Muy húmedo	Régimen de temperatura <i>friigido o méxico</i> ; horizontes mólico, argílico y espódico, desaturados de bases.	Podzoles	Espodosoles
G	Muy cálido - Muy húmedo	Régimen temperatura <i>hipertérmico</i> ; horizontes ócricos, argílico desaturado y óxicos.	Acrisoles Ferralesoles	Ultisoles Oxisoles

Para el área de estudio de este trabajo se identificaron 9 hidroseries cuyos valores se exponen en la Tabla 3 donde se indican el o los Ordenes predominantes y se omiten los de menor representación y en estos se encuentran el Vertisol y el Oxisol.

Tabla 3: Hidroseries identificadas para el área de estudio

<i>Hidroseries</i>	<i>Rango K teórico</i>	<i>Rango K área estudio</i>	<i>K medio área estudio</i>	<i>Cantidad de suelos incluidos</i>	<i>Orden predominante</i>
A-AB	0-0,15	0,07-0,14	0,10	11	Entisol-Aridisol
AB-B	0.15-0.20	0,15-0,20	0,17	15	Aridisol-Entisol
B-BC	0.20-0.33	0,22-0,32	0,27	31	Entisol-Aridisol
BC-C	0.33-0.41	0,33-0,40	0,37	28	Entisol- Molisol
C-CD	0.41-0.61	0,42-0,60	0,49	29	Molisol- Entisol
CD-D	0.61-0.76	0,61-0,73	0,68	38	Molisol
D-DE	0.76-1.03	0,76-0,96	0,86	38	Molisol
DE-E	1.03-1.27	1,04-1,21	1,12	20	Molisol- Alfisol
E-EF	1.27-1.66	1,38	1,38	8	Alfisol-Ultisol

En términos generales, se observa una lógica entre la magnitud del flujo de energía externa (lluvias) y los grandes grupos genéticos desarrollados (ítems 7.1 y 7.2).

El grupo genético de suelos agrupados en las hidroseries DE-E y E-EF están en ambientes sin deficiencia hídrica desde el punto de vista climático ($P > E_0$) y corresponde principalmente a los suelos que mayor flujo de energía externa reciben y los que mayor gasto realizan para su formación y mantenimiento de su organización estructural: Ultisoles, Alfisoles y Molisoles próximos a los Alfisoles con valores medios de K mayor a 1 (hidroseries DE-E y E-EF).

En el resto de las hidroseries se agrupan los suelos desarrollados en ambientes con deficiencia hídrica desde el punto de vista climático ($P < E_0$). En orden creciente de deficiencia se agrupan primeramente los Molisoles cuyos valores de K medio son 0,86 y 0,68 para las hidroseries D-DE y CD-D respectivamente; en los valores de K de 0,49 y 0,37 hidroseries CD-D y BC-C se agrupan Entisoles y Molisoles y para valores menores de 0,27 hidroseries B-BC, AB-B y A-AB, se agrupan Entisoles y Aridisoles.

7.5 Relación entre energía de formación y contenido de materia orgánica humificada para las hidroseries identificadas.

Promediando los valores de Qfs , IHT y % MO para los 217 individuos suelos agrupados en cada hidroserie identificada se obtuvieron los resultados que se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4: Valores promedios de Qfs , IHT y % MO para las hidroseries identificadas

<i>Hidroserie</i>	<i>Qfs</i>	<i>IHT</i>	<i>% M.O</i>
A-AB	0,5	16.9	0,78
AB-B	2,15	9.0	0,95
B-BC	8,64	5.62	0,94
BC-C	14,61	4.31	1,74
C-CD	26,09	3.0	2,79
CD-D	36,43	2.41	3,48
D-DE	46,08	1.86	3,78
DE-E	58,91	1.49	3,74
E-EF	67,43	1.02	4,09

La relación cuantitativa entre la energía de formación y el contenido de materia orgánica humificada para cada conjunto de suelos agrupado por hidroserie se ajusta a una función polinómica, (Fig. 5) con un elevado grado de correlación positiva: 97 %.

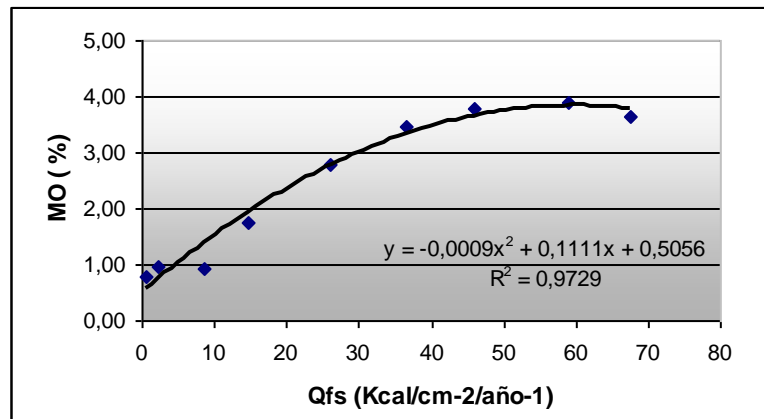


Fig. 5: Relación entre energía de formación promedio (Qfs) y contenido promedio de materia orgánica ($MO\%$), para las hidroseries del área de estudio.

Por otra parte, la relación cuantitativa entre el contenido de materia orgánica y el IHT se muestra en la Fig. 6.

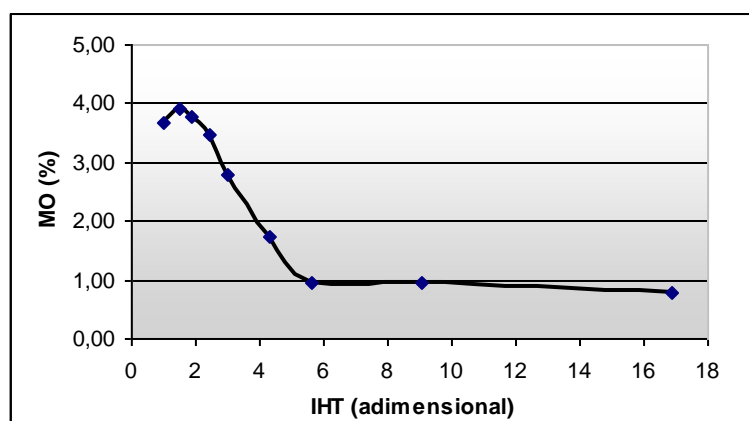


Fig. 6: Relación entre *IHT* y contenido porcentual promedio de materia orgánica humificada

Esta relación tiene una tendencia similar a la encontrada por Aydarov (1985), Nikolski (1998) y Contreras (2002). Estos autores establecen que los suelos de mayor potencial productivo (expresado en este caso por el contenido de materia orgánica) se encuentran en un rango definido de *IHT* entre 1 y 2.5 puesto que a valores menores de 1 y mayores 2,5 el contenido de humus disminuye sensiblemente. Es importante mencionar que para el presente estudio se usó una base de datos menos ajustada que la de los autores de referencia.

7.6 Relación entre energía de formación e *IHT* con propiedades pedológicas de suelos zonales de las regiones pampeana y mesopotámica.

Los 43 suelos zonales seleccionados en ambas ecoregiones (ítem 6.3) fueron agrupados según el índice de humedecimiento *K* e incluido dentro de la hidroserie respectiva (Tabla 5).

Tabla 5: Hidroseries identificadas en las regiones pampeana y mesopotámica.

<i>Hidroserie</i>	<i>Rango K área estudio</i>	<i>K medio área estudio</i>	<i>Ordenes</i>
BC-C	0.34-0.4	0,38	Molisoles – Entisoles
C-CD	0.46-0.48	0,47	Molisoles – Entisoles
CD-D	0.61-0.73	0,69	Molisoles – Alfisoles
D-DE	0.76-0.95	0,86	Molisoles – Vertisoles
DE-E	1.10	1,10	Ultisoles - Alfisoles

Se puede apreciar la misma relación que en el ítem 7.3: los Ultisoles y Alfisoles se localizan en áreas sin déficit hídrico desde el punto de vista climático ($K > 1$) mientras que el resto de suelos se ubican en áreas con déficit hídrico ($K < 1$) y con un neto predominio de Molisoles que se asocian a Entisoles en las hidroseries con mayor déficit y con Alfisoles y Vertisoles en las hidroseries con menor déficit hídrico.

Para cada hidroserie definida, se procedió a promediar los valores de las propiedades pedológicas del grupo de individuos suelos que conforman cada hidroserie y analizar que relación cuantitativa tienen con la *Qfs* o *IHT*. Las propiedades seleccionadas son aquellas que poseen una elevada incidencia en la definición de la capacidad productiva agrícola de los suelos y son: contenido de arcilla, contenido de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónica (CIC), contenido de Calcio (Ca) y Magnesio (Mg), saturación con bases (Sat) (Tabla 6).

Tabla 6: Valores promedios de distintas propiedades pedológicas, *Qfs* e *IHT* para cada hidroserie identificada en las regiones pampeana y mesopotámica.

<i>Hidroserie</i>	<i>IHT</i>	<i>Qfs</i>	<i>Arcilla</i> %	<i>M.O</i> %	<i>CIC</i> <i>me/100</i> <i>gr</i>	<i>Ca</i> <i>me/100gr</i>	<i>Mg</i> <i>Me/100</i> <i>gr</i>	<i>Sat</i> %
BC-C	3,97	17,94	9,48	1,81	11,25	6,71	1,18	88,04
C-CD	2,90	26,31	15,70	2,52	17,18	13,40	1,53	98,00
CD-D	2,39	37,46	21,34	3,65	19,11	12,08	2,42	90,35
D-DE	2,06	43,09	22,25	3,58	22,18	13,98	2,40	83,30
DE-E	1,48	61,11	26,60	2,96	16,98	4,65	2,25	47,75

Se observa que para los suelos agrupados en las hidroseries BC-C, C-CD, CD-D y D-DE a mayor energía de formación o menor IHT se incrementa el contenido de arcilla, de MO y obviamente de CIC mientras que el porcentaje de saturación en bases es elevado -entre el 83 y 98%. La excepción es la hidroserie DE-E donde, si bien el contenido de arcilla promedio es el más alto, los valores de MO y CIC disminuyen igual que el porcentaje de saturación con bases. En efecto, este comportamiento se explica pues en esta hidroserie se agrupan los Ultisoles y Alfisoles asociados (Tabla 5) con elevado ingreso anual de energía externa y donde predominan los procesos de génesis geoquímicos sobre los bioquímicos.

Esta característica produce una acumulación de materia orgánica sobre el suelo (energía acumulada en la vegetación viva), meteorización intensa del material originario, neoformación de arcillas pobres en sílice (1:1) e intensa lixiviación de bases que se ve reflejado en una saturación del coloide por debajo del 50%. La relación entre estas propiedades coincide con lo mencionado por Duchaufour (1984) y Hampp (2006).

Otro aspecto que se observa en los datos de la Tabla 6 es que en las hidroseries BC-C, C-CD, CD-D y D-DE la saturación del complejo de intercambio guarda la proporción establecida para Molisoles con valores entre el 60 y 78% de saturación con calcio y entre el 10 y 12% de magnesio. También se observa que a mayor porcentaje de saturación mayor es el contenido de calcio siendo la hidroserie C-CD la más representativa en este sentido ya que posee el mayor porcentaje de saturación del complejo de intercambio 98% y es la que tiene el mayor contenido de calcio 78% y el menor de Mg 9%.

Una consideración especial debe hacerse con el Mg en la hidroserie DE-D donde la saturación promedio del coloide es menor al 50% y esta base se encuentra en un porcentaje de saturación del 13%. Esta característica podría estar vinculada al proceso de *fersialitización* (Duchaufour 1984), que ocurre en Alfisoles y Ultisoles donde la pérdida de sílice no es muy acentuada y predominan arcillas 2/1 en parte heredadas y en parte de neoformadas. En estas condiciones pueden formarse *montmorillonita* en medios no muy lixiviantes o *clorita primaria* en medios débilmente ácidos. Ambas arcillas se caracterizan por tener Mg en sus estructuras: la primera en la capa octaédrica como catión en sustitución isomórfica de Aluminio y en la segunda como una capa octaédrica pura denominada *brucita*.

Las correlaciones entre el *IHT* con las propiedades pedológicas analizadas y que se exponen en las Fig. 7, 8, 9, 10, 11 y 12 arrojan valores de R^2 elevados: entre 0.98 y 0.78. Esto indica que este índice explica adecuadamente la variabilidad de las mismas con la energía de formación (recordar que el *IHT* es inversamente proporcional a Qfs). A continuación se presentan los gráficos de correlaciones.

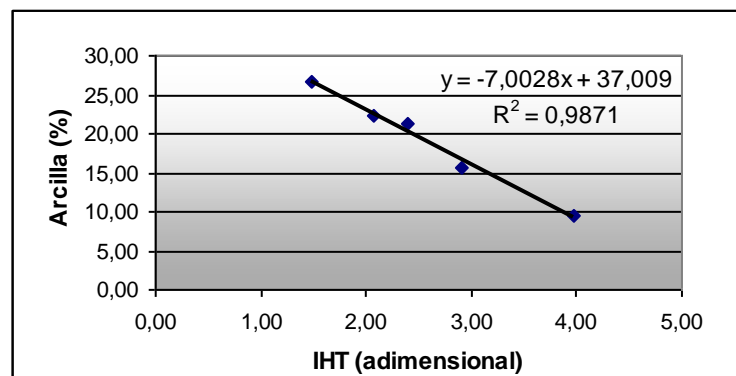


Figura 7: Correlación contenido de arcilla - *IHT*

Esta relación para los estudios realizados en Rusia y México (Nikolsky, 1998) la relación % de arcilla e *IHT* tiene el mismo comportamiento: es una relación lineal con pendiente negativa para *IHT* entre 1 y 14. Rasmussen *et. al.* (2005) también encontró esta relación entre la fuente energética externa y el contenido de arcilla aunque con un R^2 sensiblemente menor. Esta relación se explicaría por el elevado influjo de energía externa a la masa del suelo produciendo intensos procesos de neosíntesis de arcillas. Cuando este influjo alcanza valores muy altos ($IHT < 1$) el contenido de arcillas silicatadas disminuye puesto que quedan sesquióxidos residuales como en el caso de Oxisoles. En este rango de *IHT* la relación sigue siendo lineal pero con pendiente positiva.

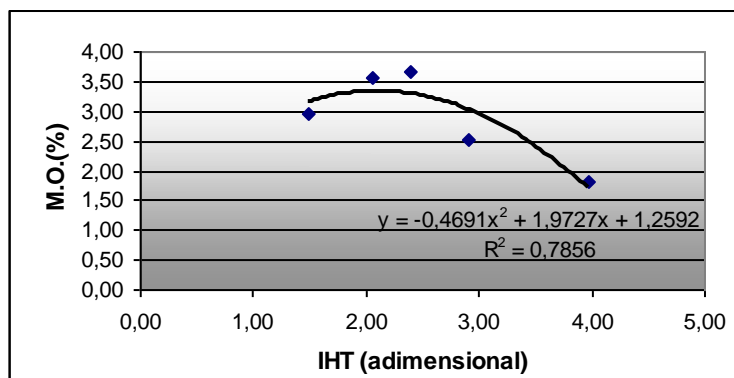


Figura 8: Correlación contenido de materia orgánica - *IHT*

A diferencia de lo analizado en el ítem 7.5 en este caso la correlación se asemeja a lo encontrado por Aydarov (1985) y Nikolski (1998) donde los máximos valores de materia orgánica humificada se encuentran en un rango definido de *IHT* entre 1,5 y 2,5 para los suelos seleccionados en las regiones pampeana y mesopotámica.

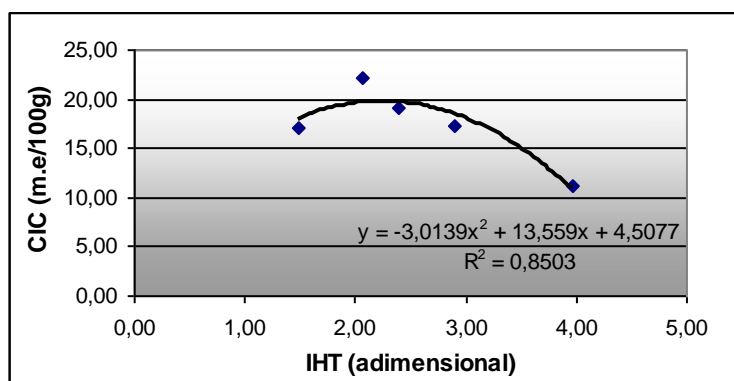


Figura 9: Correlación capacidad de intercambio catiónica – *IHT*

La correlación encontrada en este caso también se asemeja a lo observado por Aydarov (1985) y Nikolski (1998) al establecer rangos óptimos de esta propiedad. En este caso el rango de *IHT* es similar al encontrado para la materia orgánica: 1,5 – 2,5.

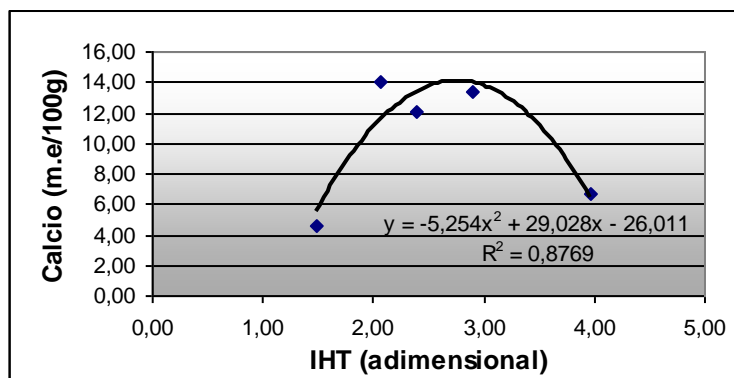


Figura 10: Correlación Ca de intercambio - *IHT*

En cuanto a esta relación, la misma se comporta de manera similar a la establecida por Aydarov (1985) y Nikolski (1998) aunque con valores diferentes: la caída en los niveles de Ca de intercambio es abrupta a partir de *IHT* menor de 2 cuando la encontrada por los autores de referencia dicha caída se observa a partir de *IHT* menor a 1. También es abrupta la caída para valores de *IHT* mayor de 3 mientras que la encontrada en suelos de Rusia y México esta caída es muy gradual hacia valores de alto del índice.

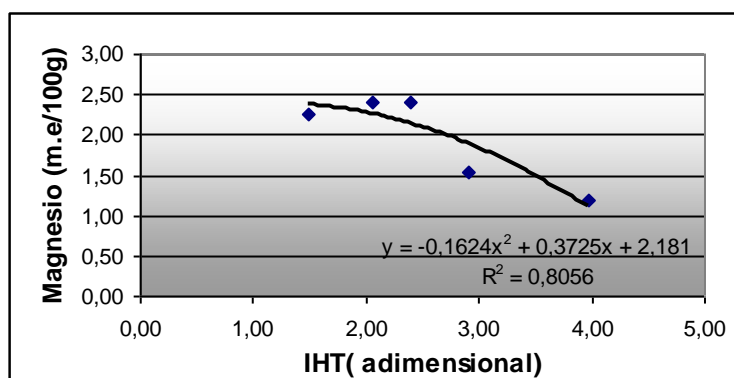


Figura 11: Correlación Mg de intercambio - *IHT*

En cuanto a esta relación, la misma es prácticamente igual a la encontrada por Aydarov (1985) y Nikolski (1998). Lo mismo ocurre con la relación con entre *IHT* y saturación con bases (Fig. 12).

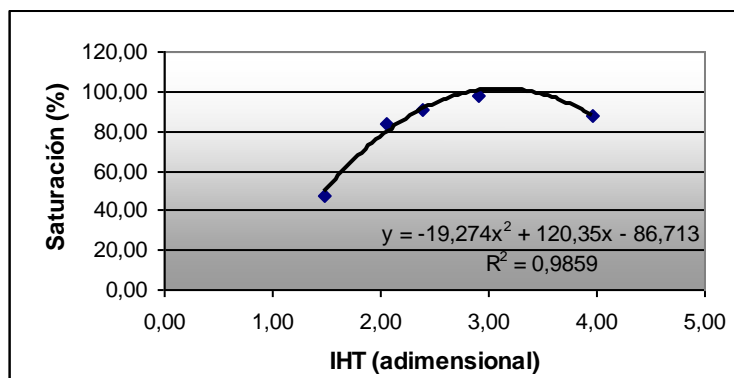


Figura 12: Correlación saturación del coloide - IHT

En general se observa que, como lo han establecido Aydarov (1985) y Nikolski (1998) para los suelos de Rusia y México, se mantiene cierta regularidad entre los valores de IHT con los valores promedios de algunas de las propiedades pedológicas que definen el potencial productivo agrícola de los suelos. Para el caso de los suelos analizados en la región pampeana y mesopotámica el rango de IHT donde las propiedades se expresan en sus magnitudes óptimas (ni en exceso ni en déficit) está entre 1,5 y 2,5 lo que corresponde a suelos desarrollados en ambientes subhúmedos con presencia de un período déficit hídrico climático ($K < 1$) y siendo los más representativos los que se agrupan en la hidroséries CD-D y D-DE: Argiudoles, Hapludoles y Haplustoles.

7.7 - Relación entre la energía de formación con el índice de productividad de los suelos.

La relación encontrada entre la energía de formación y el índice de productividad para los 43 suelos seleccionados en las regiones pampeana y mesopotámica se ajusta a una ecuación polinómica con correlación positiva (Fig. 13)

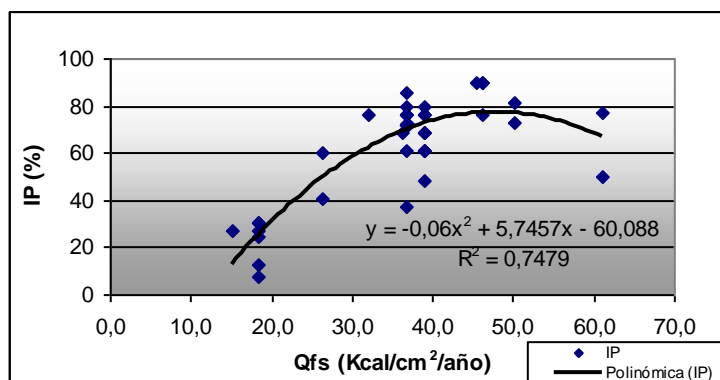


Figura 13: Correlación Qfs – IP

Esta relación cuantitativa indica que a mayor energía de formación mayor es la capacidad productiva agrícola de los suelos con máximos valores de IP entre lo 40 y 50 Kcal.cm⁻².año⁻¹ para luego empezar a decrecer. Particularmente se observa que, suelos cuyos valores de *Qfs* están en el orden 20 Kcal.cm⁻².año⁻¹ poseen un IP menor o igual a 25 y corresponden a suelos del orden Entisol o integrados a Molisoles enticos. Los suelos desarrollados con una energía de formación entre 30 y 40 Kcal.cm⁻².año⁻¹ poseen un valor promedio de IP 68 y corresponden mayoritariamente a suelos del orden Molisol: Argiudoles, Argiustoles, Hapludoles y Haplustoles. Los suelos con valores de energía de formación entre 40 - 50 Kcal.cm⁻².año⁻¹ tienen los valores máximos del IP: 85 y corresponden a Argiudoles típicos y extragrados como Argiudoles vérticos. Por último los suelos cuya energía de formación es superior a las 60 Kcal.cm⁻².año⁻¹ el IP promedio es 62 en esto valor de productividad se ubican los suelos de los órdenes Alfisol y Ultisol.

Esta relación explica, por un lado que la mayor energía de formación implica un mayor desarrollo de las propiedades que definen la capacidad de producción primaria y por tanto un mayor nivel de energía libre del sistema suelo hasta un punto donde esta relación se hace inversa. Por otro lado, se observa que cuando el flujo de energía de formación es alto los suelos formados en esos ambientes, si bien poseen la mayor capacidad hacer circular la materia y energía a través de su masa, cuando se alteran sus condiciones naturales, por ejemplo se reemplaza la vegetación nativa por cultivos, su capacidad de producción medida en términos utilitarios se ve resentida. Tal vez, habría que introducir otros conceptos teóricos tales como resiliencia o entropía para explicar esta relación y que no están contemplados en el marco de este trabajo.

En cuanto a la relación *IHT* e IP obviamente que mantiene la misma relación cuantitativa (ajuste a una ecuación polinómica) tal como lo muestra la Fig. 14.

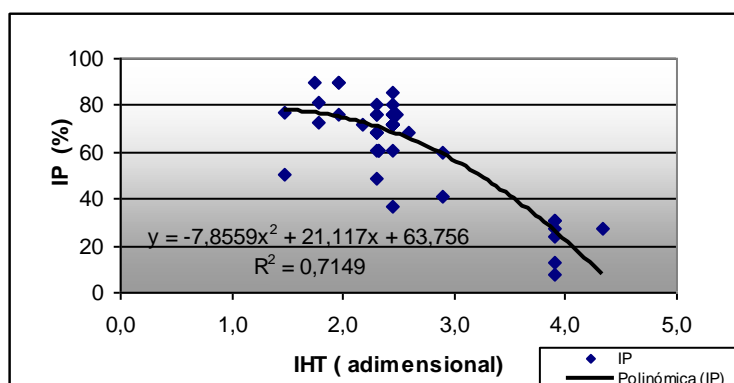


Figura 14: Correlación *IHT* – IP

Tal como se discutió en el ítem 7.5, se observa que entre valores de *IHT* 1,5 – 2,5 se agrupan 33 suelos de los 43 seleccionados donde predominan los grandes grupos Argiudoles, Hapludoles y Haplustoles y que corresponden a los suelos de mayor productividad de

nuestro País. Valores de *IHT* en el orden de 4 corresponde a suelos de ambientes secos o de escaso desarrollo y valores menores de 1,5 corresponde a suelos de mayor evolución geoquímica con limitaciones para las producciones tradicionales por los crecientes niveles de insaturación del complejo de cambio y acidez.

Por último cabe acotar que, dado los valores de R^2 de ambas correlaciones es factible aproximar un valor de productividad ampliamente generalizado en la evaluación de tierras de nuestro País con la energía de formación de los suelos.

VIII - CONCLUSIONES

- La metodología utilizada para cuantificar la energía de formación de los suelos ha resultado ser un procedimiento relativamente sencillo de aplicar.
- Los valores de energía de formación calculados son comparables con determinaciones cuantitativas o cualitativas realizadas por otros autores por lo que le confieren cierta confiabilidad al procedimiento de cálculo empleado.
- A pesar de la relativamente pobre información de base, el procedimiento de ajuste realizado en cuanto al coloide orgánico como el agrupamiento de suelos a partir del índice de humedecimiento, logró disminuir la dispersión de datos y arribar a resultados explicativos satisfactorios.
- Las relaciones cuantitativas entre la energía de formación o *IHT* con algunas propiedades pedológicas resultan bastante explicativas de los procesos de génesis que operan sobre los suelos de mayor expresión areal del País.
- Las correlaciones entre la energía de formación y un método de evaluación de la capacidad productiva de los suelos incorporan un novedoso campo en materia de evaluación de tierras: es factible estimar el nivel de energético de un suelo a partir de su índice de productividad y viceversa.

Por todo lo expuesto y en relación a la hipótesis planteada para este trabajo se concluye que:

- Se acepta parcialmente la primer parte de la hipótesis al encontrar que la distribución geográfica de los principales tipos genéticos de suelos en Argentina es explicada por la variación la precipitación media anual sobre el territorio continental y no por la radiación solar neta tal como se había planteado.
- Se acepta la hipótesis de que existen relaciones cuantificables entre el índice hidrotérmico local y algunas propiedades pedológicas para suelos zonales de Argentina lo que permitiría estudios de cambios de estas propiedades en el largo plazo.

IX - BIBLIOGRAFIA

- AYDAROV, I. P. 1985 **Manejo de los Regimenes Hídrico, salino y de nutrientes en suelos bajo riego**. Ed. Agropromizdat, Moscú, URSS, 204 p.
- AYDAROV, I. P.; A. I.KOROLKOV y V. J. JACHATURIAN, 1987 **Modelación de los procesos de formación de suelos y de su productividad agrícola**. Biologicheskie Nauki, No.9: 27-38, Moscú, URSS.
- AYDAROV, I. P.; A. I. GOLOVANOV y Y. N. NIKOLSKI, 1990 **Recomendaciones generales sobre el manejo de los recursos hídricos y de suelos para aumentar la producción agrícola y proteger el ambiente en diferentes zonas climáticas**. Ed. Agropromizdat, Moscú, URSS. 60p.
- BOSSHARD, A. 2000 **A methodology and terminology of sustainability assessment and its perspectives for rural planning**. *Agric. Ecosyst. Evirom.* 77:29-41.
- BRAMAO, RIQUIER y CONET 1970. **Apunte Cátedra Uso y Manejo de suelos 2002**. Cap.2: 22-28.
- BRICCHI, E.; F. FORMIA; G. ESPOSITO y L. RIBERI; H. AQUINO 2004 **The effect of topography tillage and stubble grazing on soil structure and organic carbon levels**. Spanish journal of Agricultural Research. Vol. 2 N° 3: 409 – 419.
- BRICCHI, E. y A. DEGIOANNI 2006. **Sistema suelo su origen y propiedades fundamentales**. Fracción orgánica de los suelos. En: Bricchi E. y Degioanni A. (Comp.). Fundación Universidad Nacional de Río Cuarto: Cap. 8:112 – 119.
- BRICCHI, E. y A DEGIOANNI 2006. **Sistema suelo su origen y propiedades fundamentales**. Materiales coloidales y química de los suelos. En: Bricchi E. y Degioanni A. (Comp.). Fundación Universidad Nacional de Río Cuarto. Cap. 11:148 – 166.
- CIARLO, E.; D. COSENTINO; O. HEREDIA y M. E. CONTI 2004 **Efecto del uso del suelo sobre componentes de la Materia Orgánica y estabilidad de agregados**. XIX Congreso Argentino de la Ciencia de Suelo. Paraná, Entre Ríos. Comisión 1: 41.

- CONTI, M. 2004 **Efectos del uso agrícola sobre suelos Vertisólicos**. XIX Congreso Argentino de la Ciencia de Suelo. Paraná, Entre Ríos: 525.
- CONTRERAS-BENÍTEZ J. A; I.NIKOLSKI-GAVRILOV; L. A. ACERVES-NAVARRO; R. ARTEAGA-RAMIREZ; M. ESCALONA-MAURICE; D S. FERNANDEZ REYNOSO.2002 **Pronostico del cambio en algunas propiedades de los suelos agrícolas al modificarse las condiciones microclimáticas**. *Agrociencia* 36:267-277.
- DUCHAUFOUR, P. H. y B. SOUCHIER 1984 **Edafología**. Tomo I: Edafogenesis y clasificación. Masson S.A.
- GAUCHER G 1971 **El suelo y sus características agronómicas**. Omega, Barcelona España.
- GROSSI GALLEGOS, H. 1997. **Evaluación a nivel de superficie de la radiación solar global en la República Argentina**. Tesis Doctoral Universidad Nacional de Luján. División. Física, Departamento de Ciencias Básicas.
- GROSSI GALLEGOS H., LOPARDO R., ATIENZA , G., GARCIA M. Y PERALTA M. (1985) Actualización de la evaluación de los datos diarios de radiación solar global obtenidos por la red solarimétrica. En Actas de la 10ma. Reunión de trabajo de la ASADE, Neuquén, Argentina, 177-185.
- GROSSI GALLEGOS H., LOPARDO R., ATIENZA G., GARCIA M. Y PERALTA M. (1986^a) **Distribución de la energía solar en la región meridional de América del Sur**. *En Memoria técnica del 5º Congreso Latinoamericano de Energía Solar*, Valparaíso, Chile, Tomo I, 1-11.
- GROSSI GALLEGOS H., LOPARDO R., ATIENZA G. y CASTEL M. E. de (1986b) **Estimación de la distribución de la radiación solar global en la Republica del Paraguay**. En Actas de la 11ma *Reunión de trabajo de la ASADES*, San Luis, Argentina, 197-202.
- GROSSI GALLEGOS H., (1998) **Distribución de la radiación solar global en la Republica Argentina**. II. Castas de Radiación. *Energías Renovables y Medio Ambiente* 5,33-42.
- GUTIÉRREZ, N. C. 2001 **Compactación de Suelos en el sudoeste Chaqueño- Método Empírico**. Tesis Postgrado Universidad Nacional del Nordeste. Resistencia- Chaco: 52.

HAMPP E. 2006 **Procesos específicos de la genesis de suelo, Ordenes de Soil Taxonomy y suelos Halo e Hidromorficos** . En: Bricchi e. y A. Degioanni (Comp.) Sistema Suelo. Fundación Universidad Nacional de Río Cuarto. Cap. 12: 170-180.

HEVIA, G. G.; D. E. BUSCHIAZZO; M. DIAZ RAVIÑA.2004 **Carbono Orgánico, nitrógeno y carbohidratos totales en suelos de la Región Semiárida Argentina (RSA)**. XIX Congreso Argentino de la Ciencia de Suelo. Paraná, Entre Ríos: 68 .

INTA-Gobierno de Entre Ríos 1978. **Suelos y Erosión de la Provincia de Entre Rios**. Plan mapa de suelos de la provincia de Entre Ríos.- Proyecto PNUD/FAO/INTA Arg. 68/526. Estación Experimental Paraná. Esc. 1:50000. Tomo II: 8-10 y 43-45.

INTA-Gobierno de San Luís 1992 **Carta de Suelos de la Republica Argentina: Hoja Buena Esperanza- Provincia de San Luis**. Estación Experimental San Luís. Esc. 1:50000: 25,26 y 30,31.

INTA-SEAA-Gobierno del Chaco. 1972-1975. **Republica Argentina suelos del Chaco - Departamento Maipú**. Estación Experimental Roque Sáenz Peña, provincia del Chaco. Esc. 1: 50000: 61-63, 69-70, 75-77, 87-89 y 121-123.

INTA-SEAG 1981.**Carta de suelos de la Republica Argentina. Planicie Fluvio Eolica y Depresión del Río Dulce. Noroeste de la provincia de Córdoba**. Esc. 1:50000: 40-42.

INTA-ICA-CFI Provincia de Corrientes 1983 **Los suelos y la vegetación del área de influencia de las obras de Yacireta Provincia de Corrientes**. Estación Experimental Regional Agropecuaria Corrientes. Esc. 1:50000: 231-235 y 544-547.

MAG-INTA. 1983 **Mapa de suelos de la provincia de Santa Fé**. Escala 1:50000. 57-60,111,112,116 p.

INTA MAPA DE ORDENES DE SUELOS DE LA REPÚBLICA ARGENTINA

En: <http://ambiente.gov.ar/?aplicacion=mapoteca&dissección=76&calapli=2> (5-03-06)

- MORENO, I.S. 2000 **La Materia Orgánica y el uso de los suelos. Su impacto sobre propiedades físicas.** Tesis Magister en Cs. del Suelo. Universidad Nacional del Sur. Bahia Blanca. Argentina :14,24.
- NIKOLSKI, Y N 1998. **Prediction of the change in agricultural soils as result of modification of hydrothermal conditions.** Int. Soc. Soil Sci. CD. Sci. Reg. 2309.7p
- NIKOLSKI, Y.N. 1987 **Los aspectos teóricos y prácticos del cambio de las propiedades de suelos bajo la influencia del riego y drenaje en la zona húmeda de la URSS.** Guidrotecnica y Melioratsia, 7:20-24.
- PARFERONOVA, N.I. Y N.M. RESHETKINA. 1995 **Principios ecológicos del manejo del régimen hidrogeoquímico de las tierras regadas.** Ed. Gidrometeoizdat, San Petersburgo, Rusia. 359 p.
- POST, W.M; W.R. EMMANUEL; A.W. KING;V.H. DALE y D.L. DE ANGELIS 1990 **The global carbon cycle.** Am. Sci.:. 78: 310-326.
- RASMUSSEN, C.; R. SOUTHARD AND W. HORWATH. 2005. **Modeling Energy Inputs to Predict Pedogenic Environments Using Regional Environmental Databases.** Soil Sci. Soc. Am. J. 69:1266–1274
- RUNGE, E. 1973. **Soil development sequences and energy models.** Soil Sci., 115:183-193.
- SAGyP-INTA-Proyecto PNUD ARG 85/019-CIRN 1990.Escala 1:500000 y 1:1000000. **Atlas de suelos de la Republica Argentina** .Buenos Aires. Tomo I y II. ISBN 950-432964-1
- SAGyP-INTA-Proyecto PNUD ARG 85/019-CIRN-IET 1989 **Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires.** Escala 1:500000.98,152,176,221,261,262,263p.

SERIO, L.; H. VICH; R. HURTADO; A. CARREIRA y G. MURPHY. 2006 **Evapotranspiración potencial media anual en Argentina en el periodo 1971-2000**. XI Reunion Argentina de Agrometeorología , La Agrometeorología y el desarrollo local. La Plata, Buenos Aires : 76-77.

SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL. MAPAS NORMALES, TEMPERATURA MEDIA ANUAL

En:<http://www.meteofa.mil.ar/mod=clima&id=52&directorio=clima2/imagenes/&variable=anual&archivo=Temp.%20Media>.15-04-05

SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL, MAPAS NORMALES, PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL

En:<http://www.meteofa.mil.ar/mod=clima&id=52&directorio=clima2/imagenes/&variable=anual&archivo=Precipitación>.15-04-05

SMECK, N., E. RUNGE, AND E. MACKINTOSH. 1983. **Dynamics and genetic modeling of soil systems**. In L.P. Wilding et al. Pedogenesis and soil taxonomy. Elsevier, New York.

SIMONSOM, R. W. 1959. **Outline of a generalized theory of soil genesis**. Sci. Soc. Am. Proc. 23: 152-156.

SCHAETZ, R. y SCHWENNER, C. 2006 **An Application of the Runge "Energy Model" of Soil Development in Michigan's Upper Peninsula**. Soil Science;171:152-166.

VERRI, L. J. 2004 **Efecto del uso y del manejo sobre la Materia Orgánica total y sus fracciones en un Hapludol típico**. Trabajo final -FAV Río Cuarto- Córdoba: 4,6,18,20,25.

VETTORELLO, C.- P. CAMPITELLI- S. CEPPI- R. SERENO. 2004 **Efecto de tres diferentes usos y manejos del suelo sobre el carbono orgánico total y sus componentes**. XIX Congreso Argentino de la Ciencia de Suelo. Paraná, Entre Ríos: 270.

VOLOBUEV, V. 1974. **Introducción a la energética de formación de suelos**. Nauka Publ., Moscú, URSS, 127 p.

TABLA ANEXA 3: ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD DE LOS SUELOS MESOPOTAMIA Y PAMPA HÚMEDA

Provincia	Serie	Tipo suelo	H	D	Pe	Ta	Tb	Sa	Na	MO	T	E	IP	IP %	ITH	Qfs
Cordoba	Marcos Juarez	Argiudol tipico	0,8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,80	80	2,4	36,6
Cordoba	La Baldisera	Argiudol tipico	0,8	1	1	1	1	1	1	1	0,95	1	0,76	76	2,4	36,6
Cordoba	La Belgica	Hapludol tipico	0,8	1	1	1	1	1	1	1	0,95	1	0,76	76	2,4	36,6
Cordoba	Abolengo	Hapludol tipico	0,8	1	1	1	1	1	1	1	0,95	1	0,76	76	2,4	36,6
Cordoba	Olaeta	Haplustol entico	0,8	1	0,8	0,8	1	1	1	1	0,95	1	0,49	49	2,3	39,0
Cordoba	La Aguada	Hapludol entico	0,8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,80	80	2,3	39,0
Cordoba	La Invernada	Hapludol tipico	0,8	1	1	1	1	1	1	1	0,95	1	0,76	76	2,3	39,0
Cordoba	Bartolome	Argiudol tipico	0,8	1	1	0,9	1	1	1	1	0,95	1	0,68	68	2,3	39,0
Cordoba	Sacanta	Haplustol tipico	0,8	1	0,8	1	1	1	1	1	0,95	1	0,61	61	2,3	39,0
Cordoba	Oncativo	Haplustol entico	0,8	1	0,8	1	1	1	1	1	0,95	1	0,61	61	2,3	39,0
Cordoba		Torriorthente tipico	0,75	0,9	0,8	0,8	1	1	1	1	0,95	1	0,41	41	2,9	26,3
Cordoba	Laboulaye	Hapludol udorthentico	0,8	1	1	0,9	1	1	1	1	0,95	1	0,68	68	2,3	39,0
Cordoba	leguizamon	Haplustol entico	0,8	1	1	1	0,9	1	1	1	0,95	1	0,68	68	2,3	39,0
Cordoba	Italo	Haplustol tipico	0,8	1	1	0,8	1	1	1	1	0,95	1	0,61	61	2,3	39,0
Cordoba	Estacion santa ana	Hapludol entico	0,8	1	1	1	1	1	1	1	0,95	1	0,76	76	2,3	39,0
Cordoba	San Francisco	Argiudol tipico	0,8	1	1	0,9	1	1	1	1	1	1	0,72	72	2,4	36,6
Corrientes	Chureski	Paleodultes tipicos	1	0,9	1	0,7	0,8	1	1	1	1	1	0,50	50	1,5	61,1
Corrientes	Zanja de san miguel	Paleudalfes molicos	1	1	1	0,9	1	1	1	0,95	0,9	1	0,77	77	1,5	61,1
San Luis	Arizona	Haplustoles enticos	0,4	1	0,8	1	1	1	1	0,95	0,9	1	0,27	27	4,3	15,0
San Luis	Buena Esperanza	Ustipsamientos tipicos	0,4	0,9	0,8	0,6	0,6	1	1	0,8	0,9	1	0,07	7	3,9	18,4
San Luis	Sacanta	Hapludol tipico	0,4	1	0,8	1	1	1	1	1	0,95	1	0,30	30	3,9	18,4
San Luis	Chacay	Hapludol entico	0,4	1	0,8	0,9	1	1	1	1	0,95	1	0,27	27	3,9	18,4
San Luis	El Yarara	Haplustol entico	0,4	1	0,8	0,8	0,6	1	1	0,95	0,9	1	0,13	13	3,9	18,4
La pampa	La verde	Ustortente tipico	0,4	1	1	0,8	1	1	1	0,8	0,95	1	0,24	24	3,9	18,4
La pampa	El Ventitres	Haplustol entico	0,4	1	1	0,8	1	1	1	1	0,95	1	0,30	30	3,9	18,4
Chaco	Silencio	Haplustol tipico	0,8	1	1	0,9	1	1	1	1	1	1	0,72	72	2,4	36,6
Chaco	Hornos	Hapludol tipico	0,8	1	1	0,9	1	1	1	1	1	1	0,72	72	2,4	36,6
Chaco	Matanza	Argiustol udico	0,8	1	1	0,9	1	1	1	1	1	1	0,72	72	2,4	36,6
Chaco	Golondrina	Argiustol udico	0,8	1	1	0,9	1	1	1	1	1	1	0,72	72	2,4	36,6
Chaco	Ipora Guazu	Durustalf	0,8	0,9	1	1	1	1	1	1	0,95	1	0,68	68	2,6	36,2
Bs. As.		Argiudol tipico	0,8	1	1	0,9	1	1	1	1	1	1	0,72	72	2,2	37,0
Bs. As.		Hapludol entico	0,8	1	1	1	1	1	1	1	0,95	1	0,76	76	2,5	32,0
Bs. As.		Argiudol tipico	0,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,90	90	1,7	45,4

Provincia	Serie	Tipo suelo	H	D	Pe	Ta	Tb	Sa	Na	MO	T	E	IP	IP %	ITH	Qfs
Bs. As.		Argiudol tipico	0,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,90	90	2,0	46,1
Bs. As.		Hapludol tipico	0,8	1	1	1	1	1	1	0,95	0,95	1	0,72	72	2,4	36,7
Bs. As.		Hapludol entico	0,8	1	1	0,9	0,6	1	1	0,95	0,9	1	0,37	37	2,4	36,7
Bs. As.		Haplustol entico	0,8	1	1	0,8	1	1	1	1	0,95	1	0,61	61	2,4	36,7
E. Rios	Ramblones	Pelurdertes argiudolicos	0,9	0,9	1	0,9	1	1	1	1	1	1	0,73	73	1,8	50,1
E. Rios	Colonia once	Argiudoles verticos	0,9	0,9	1	1	1	1	1	1	1	1	0,81	81	1,8	50,1
S. Fe		Argiudol tipico	0,8	1	1	1	1	1	1	1	0,95	1	0,76	76	2,0	46,1
S. Fe		Argiudol tipico	0,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,90	90	2,0	46,1
S. Fe	Marcos juarez	Argiudol tipico	0,9	1	1	1	1	1	1	1	0,95	1	0,86	86	2,4	36,6
S. del Estero	Sebastian elcano	Haplustol entico	0,75	1	0,8	1	1	1	1	1	1	1	0,60	60	2,9	26,3

Referencias

H: Disponibilidad de agua

D: Drenaje

Pe: Profundidad efectiva

Ta: textura del horizonte superficial

Tb: textura del horizonte subsuperficial

Sa: contenido de sales solubles

Na: alcalinidad sodica

MO: contenido de Materia Organica

T: Capacidad de intercambio cationico

E: erosion

IP: indice de productividad

IHT: Indice Hidrotermico local (adimensional)

Qfs: Energía de formacion del suelo (Kcal. cm⁻². año⁻¹)