

CAPACIDAD SUMIDERO DE CARBONO DEL ARBOLADO URBANO DE ROSARIO: PRIMERA APROXIMACIÓN

L. Pitola, L. Castagnani, A. Coronel y S. Feldman

Cátedras de Biología y Climatología Agrícola - Fac. de Cs. Agrarias – UNR. Campo Villarino s/n, Zavalla, 2123, Santa Fe.
Tel/Fax: 0341-4970080. e-mail: alejandra.s.coronel@gmail.com

Recibido: 23-02-12; Aceptado: 20 -3-12.

RESUMEN.- La mayoría de las emisiones de gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático global, provienen de zonas urbanas. Por consiguiente estas emisiones contribuyen a las condiciones del tiempo a escala local y global, y también a la modificación del clima. Una mayor urbanización aumentará las emisiones que se originan en las ciudades. Una solución de tipo biológico es usar vegetación para reducir el calor urbano. El objetivo de este trabajo fue realizar la primera estimación de la capacidad sumidero de carbono de especies presentes en el arbolado viario de la ciudad de Rosario. Se trabajó con la información del Censo de Arbolado de Alineación, preparado por la Municipalidad de Rosario y datos de tasas fotosintéticas para las especies: *Ulmus minor* “olmo”, *Melia azedarach* “paraíso”, *Prunus cerasifera* “ciruelo rojo”, *Platanus X hispanica* “plátano”, *Jacaranda mimosifolia* “jacarandá”. Se pudo observar que existe una importante diferencia en la capacidad de captura de CO₂ entre las distintas especies, esta información es útil a la hora de seleccionarlas para gestionar y planificar un arbolado urbano más eficiente en la capacidad fijadora de dióxido de carbono. El CO₂ secuestrado en toda la ciudad en el año por estas especies fue de 58943,45 Mg.

Palabras claves: arbolado urbano, secuestro de carbono, Rosario

CARBON SINK CAPACITY OF URBAN TREES ON ROASIDES OF ROSARIO, ARGENTINA

ABSTRACT.- Most of the emissions of greenhouse gases that contribute to global climatic change are originated in urban areas. Therefore, these emissions contribute to weather at local and global levels and to climate modifications as well. The increase in urban areas will also increase city gases emissions. One possible solution is using urban vegetation, mostly trees, as carbon sinks. The aim of this contribution was to calculate the first estimation of the carbon sink capacity of the urban trees on roadsides of Rosario. We used information provided by Rosario City Hall, The Census of Urban Trees on Roadsides of Rosario, and photosynthetic rates of *Ulmus minor* “olmo”, *Melia azedarach* “paraíso”, *Prunus cerasifera* “ciruelo rojo”, *Platanus X hispanica* “plátano”, *Jacaranda mimosifolia* “jacarandá”. Differences among carbon sink among species was detected and this information can be really useful when selecting species for urban roadsides and parks so as to plant trees with higher capabilities of carbon sequestration. CO₂ sequestered by urban trees on roadsides in the whole city was 58943,45 Mg year⁻¹.

Keywords: urban forest, carbon sequestration, Rosario

1. INTRODUCCION

El dióxido de carbono es un gas incoloro, producto de la combustión de compuestos orgánicos y es uno de los gases efecto invernadero, junto al metano, el óxido nítrico, el vapor de agua y el ozono. Desde la Revolución Industrial, la concentración atmosférica de dióxido de carbono aumentó debido al uso de combustibles fósiles y esa tendencia se ha incrementado en las últimas décadas.

En función de las conclusiones del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPPC, 2007), este aumento de gases efecto invernadero sería el responsable de los incrementos

registrados en las temperaturas medias atmosféricas y, de seguir la misma tendencia, tendría un gran impacto sobre los ecosistemas terrestres. En función de ello, se ha hecho necesario plantear tanto estrategias de reducción de emisiones, como acciones que conduzcan a la captación de dióxido de carbono de modo que se pueda retirar de la atmósfera. Un claro ejemplo de esta tendencia es el acuerdo alcanzado al redactarse el protocolo de Kyoto, por medio del cual los países presentes se comprometen a reducir las emisiones de estos gases en valores similares a los de años anteriores (CMCC, 1997).

Comúnmente se da el fenómeno de elevación de la temperatura en zonas urbanas densamente construidas causado por una combinación de factores tales como la edificación, la falta de espacios verdes, los gases efecto invernadero y la generación de calor, denominado isla de calor. Se ha observado que este fenómeno aumenta con el tamaño de la ciudad y que es directamente proporcional al tamaño de la mancha urbana. Además, la relación entre las altas temperaturas urbanas y la falta de vegetación en la ciudad es directa, debido a la baja transformación de la energía solar incidente a través de procesos como la fotosíntesis.

Las islas urbanas de calor por sí mismas no son responsables del calentamiento global porque son fenómenos de pequeña escala y cubren tan solo una minúscula fracción de la superficie de la tierra. Sin embargo, hay algunas conexiones urbano-globales dignas de mencionar (Voogt, 2008).

Aproximadamente la mitad de la población del mundo vive actualmente en ciudades, y se espera que esta cantidad aumente al 61% para el 2030. La alta tasa de urbanización, implica que un futuro, un número de personas cada vez mayor se verá expuesto a los impactos que resultan de la isla de calor.

La mayoría de las emisiones de gas de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático global, provienen de zonas urbanas. Por consiguiente estas emisiones contribuyen a las condiciones del tiempo a escala local y global, y también a la modificación del clima. Una mayor urbanización aumentará las emisiones que se originan en las ciudades.

Las modificaciones climáticas que han ocurrido en las grandes ciudades en el último siglo muestran similitudes en términos de las tasas y magnitud esperadas con respecto a los cambios climáticos proyectados hacia el futuro. Por lo tanto, las ciudades pueden servir como modelo para evaluar los impactos del cambio climático así como las estrategias de adaptación al mismo, tanto a escala local como global.

Una solución de tipo biológico es usar vegetación para reducir el calor urbano. A su vez con esta estrategia los residentes urbanos se benefician con mejoras en la calidad del aire por:

- Disminución de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles que contribuyen al smog urbano por que se deposita parte de este sobre la superficie de las hojas
- Reducción potencial de la tasa de formación de ozono
- Reducción de gases de efecto invernadero y emisiones contaminantes provenientes del uso del aire acondicionado y la calefacción

Surge así la necesidad de potenciar a los sumideros o reservorios de carbono en las ciudades, utilizando los procesos naturales que regulan el flujo de carbono en la naturaleza. En este ciclo, las plantas son las responsables principales de la remoción del carbono atmosférico, pasando a ser piezas clave para una estrategia sostenible de captación de dióxido de carbono.

Gayoso y Guerra (2002) destacan la importancia de contar con la cuantificación de carbono con base en información diferenciada por especie y componentes del árbol, para proyectos de captura de carbono.

Desde la década del 60 comenzó en Rosario la edificación en altura en el área denominada microcentro. Este proceso, que se había detenido poco antes de los 80, tuvo un nuevo impulso a partir de estos últimos años, encontrándose en la actualidad aproximadamente el 65% de la superficie urbanizada y solo el 5% de espacios verdes (Dirección General de Estadística - Municipalidad de Rosario, 2008) (Fig. 1.). El continuo crecimiento de la ciudad lleva al deterioro de estos espacios de fundamental importancia ecológica y recreativa, siendo imprescindible su revalorización y adecuada planificación. Mendoza (2006) realizó un diagnóstico de los espacios verdes de la ciudad de Rosario, mediante el análisis de imágenes satelitales y aplicación de índices del paisaje, concluyendo que además de las zonas verdes, los corredores verdes urbanos son también importantes ya que potencian la superficie cubierta con vegetación y mejoran su funcionamiento porque permiten conectar áreas verdes de la ciudad. Además destaca que “la mitad de la superficie del municipio no está impermeabilizada, por lo que existe la posibilidad de recuperar y crear un plan para manejar los intersticios vegetados...”.

El objetivo de este trabajo fue realizar la primera estimación de la capacidad sumidero de carbono de especies presentes en el arbolado viario de la ciudad de Rosario.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Caracterización de la ciudad de Rosario

Rosario es una ciudad ubicada al sur de la provincia de Santa Fe, República Argentina, que se encuentra a los 32° 55' de latitud sur y 60° 47' de longitud oeste, a 27 m s.n.m. Tiene una superficie total de 178,69 km², estando bordeada desde el noreste al sureste por el río Paraná. Este aspecto es de fundamental importancia para la configuración del clima local, siendo éste templado-húmedo. Las temperaturas medias mensuales del aire oscilan entre 25°C y 10°C, en verano e invierno respectivamente, y las precipitaciones anuales alcanzan los 1000 mm., ocurriendo las mayores lluvias en el semestre cálido (Servicio Meteorológico Nacional, 2011).

En cuanto a su población la ciudad de Rosario es la localidad más poblada de la provincia de Santa Fe, con aproximadamente 1.000.000 de habitantes (esto representa el 38% del total de los habitantes de la provincia y el 3% de los habitantes del país). Rosario tiene una densidad de población de 5596,28 habitantes × km².

2.2. Información utilizada

Se trabajó con la información del Censo de Arbolado de Alineación, preparado por la Municipalidad de Rosario y datos de tasas fotosintéticas según Figueroa *et al.* (2007); para las especies que existe esta información: *Ulmus minor* “olmo”, *Melia azedarach* “paraíso”, *Prunus cerasifera* “ciruelo rojo”, *Platanus X hispanica* “plátano”, *Jacaranda mimosifolia* “jacarandá”.

La información meteorológica utilizada corresponde a la estación Rosario (32.91°S, 60.78°O), correspondiente a la red del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Esta estación se encuentra ubicada en el Aeropuerto Islas Malvinas en Fisherton.



Fig. 1. Imagen de la ciudad de Rosario. En esta imagen pueden verse las áreas verdes en color gris claro.

De la información suministrada por el censo se obtuvo la categorización por especies, el número de ejemplares y ubicación de estos en la ciudad (Fig. 2.).

Dado que no hay información bibliográfica sobre los valores de tasa fotosintética de distintas especies de árboles en la ciudad de Rosario, ni en otras ciudades del hemisferio sur, se utilizó la información obtenida en la ciudad de Sevilla (Figueroa Clemente y Redondo Gómez, 2007).

Tabla 1: Heliofanía efectiva en Rosario para las estaciones del año, según datos del SMN.

Estación	Días	Heliofanía efectiva promedio (hs)	Heliofanía efectiva promedio (seg)
Primavera	92	8,63	2858256
Verano	90	9,20	2980800
Otoño	91	6,10	1998360
Invierno	92	6,17	2043504

2.3. Cálculos realizados

Se calculó la superficie foliar por árbol mediante técnicas de muestreos. El total de CO₂ fijado por árbol se estimó multiplicando la tasa fotosintética por el valor de heliofanía efectiva y la superficie foliar calculada.

Para cada una de las especies, se realizaron los siguientes cálculos y estimaciones.

a) Superficie foliar por árbol (S):

$$S = s * H$$

siendo:

s: superficie foliar promedio, se determinó promediando los valores medidos con un medidor de área foliar (LI-COR USA modelo LI-3100), n= 30 hojas por especie de árbol, excepto en Jacarandá donde n= 40 hojas.

H: número total de hojas por árbol:

$$H = R * h$$

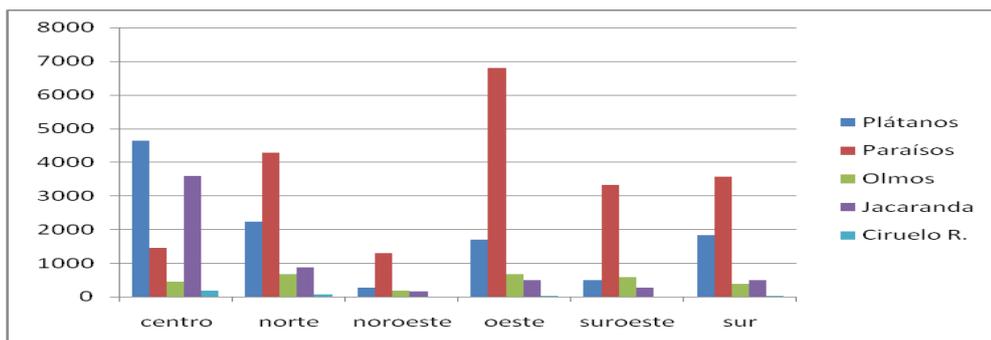


Fig. 2. Distribución de las especies del arbolado viario en los distintos distritos de la ciudad de Rosario

R: número de ramas por árbol (n= 10 árboles):

$$R = r_1 * r_2 * \dots * r_n$$

r_1 : N°. de ramas primarias

r_n : N°. de ramas de orden n donde no hay posterior bifurcación

h: número de hojas por rama, se determinó promediando para cada especie los valores de 10 ramas.

b) Capacidad fijadora de dióxido de carbono (**C**)

$$C = A * St * hs$$

siendo:

A: tasa fotosintética: $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Los valores de tasas fotosintéticas aplicados a las especies en estudio para las estaciones de primavera-verano y otoño-invierno, son los correspondientes a la tasa fotosintética neta del mediodía y el amanecer respectivamente, obtenidas en la ciudad de Sevilla (Figueroa Clemente y Redondo Gómez, 2007).

St: superficie foliar total, es la multiplicación del valor de superficie foliar por árbol (S) por el número total de ejemplares de cada especie.

hs: número de horas de luz, expresada en segundos. Se obtuvo multiplicando la duración en días de cada estación del año por el valor promedio de heliofanía efectiva correspondiente a ese período obtenido de los registros de la estación meteorológica Rosario (Tabla 1). Para cada especie se consideró la estación en la cual contaba con área foliar.

c) Respiración nocturna (**RN**):

$$RN = RN_i * St * hs$$

Siendo:

RN_i : tasa de respiración nocturna según Figueroa *et al.* (2007)

hs: calculada por diferencia entre la duración de un día y los valores promedios de heliofanía efectiva.

d) Balance neto de CO₂ en la ciudad (**BN**):

$$BN = C - RN$$

Los valores de $\mu\text{mol CO}_2$ se transformaron en Mg de CO₂

Las temperaturas medias, mínimas y máximas de Rosario y Sevilla no presentan diferencias importantes y por lo tanto tampoco en la amplitud térmica anual (Tabla 2).

Si es importante destacar por un lado las diferencias en los montos anuales de precipitación, Sevilla tiene una precipitación que es prácticamente la mitad que la ciudad de Rosario; y por otro que las mayores precipitaciones en la ciudad santafesina ocurren en el semestre cálido y en la localidad española en el semestre frío, ya que tiene un régimen de precipitaciones mediterráneo. Sin embargo los montos alcanzados en invierno en Rosario (80 mm) superan a lo que ocurre en Sevilla (55 mm.). Esto conlleva a que los veranos en Sevilla sean algo más cálidos que en Rosario debido a la disminución de la humedad y además a una mayor cantidad de horas efectivas de luz (Tabla 3).

Tabla 2: información climatológica de la ciudad de Rosario (Argentina) (SMN) y de Sevilla (España) (Agencia Estatal de Meteorología de España, AEMET).

	Rosario	Sevilla
Latitud	32° 57' S	37° 23' N
Radiación mes más cálido (cal*cm ⁻² *día ⁻¹)	1023	1027
Radiación mes más frío (cal*cm ⁻² *día ⁻¹)	403	348
Temperatura media anual (°C)	17,5	18,6
Temperatura mínima media anual (°C)	11,7	12,2
Temperatura máxima media anual (°C)	24,0	24,9
Precipitación (mm*año ⁻¹)	988,6	534

Considerando que Rosario y Sevilla presentan una diferencia en latitudes de 4,5°, la radiación incidente en verano no presenta diferencias significativas, pero estas discrepancias aumentan en invierno, disminuyendo en Sevilla la radiación en un 13,6% respecto a la que llega en Rosario (Tabla 2).

Puesto que los árboles de regiones templadas se saturan con irradiancias de solo 600 $\mu\text{mol*m}^{-2}*s^{-1}$ (Montaldi, 1995), en el período del año en que este valor es superado (estival), no existirían diferencias de fijación causada por dicho factor. En el segmento del año en el que el valor es inferior al de saturación (invernal), Rosario cuenta con un mayor valor de irradiancia que el que alcanza Sevilla (Tabla 2).

Tabla 3: Heliofanía efectiva en Rosario y en Sevilla para las distintas estaciones del año.

	Días	Heliofanía efectiva Rosario (seg)	Heliofanía efectiva Sevilla (seg)
Primavera	92	2858256	2682000
Verano	90	2980800	3567600
Otoño	91	1998360	2354400
Invierno	92	2043504	1857600

3. RESULTADOS

Los árboles considerados presentaron distintos valores de superficie foliar (Tabla 4, 5 y 6).

Tabla 4: Superficie foliar promedio de plátano, jacarandá, paraíso, olmo y ciruelo rojo

Especies	Promedio (cm ² *hoja ⁻¹)
Plátano	147,05
Jacarandá	322,05
Paraíso	214,76
Olmo	85,93
Ciruelo rojo	14,11

En función de las diferentes tasas fotosintéticas que poseen estas especies, los valores totales de fijación de CO₂ por día oscilaron entre 0,13 y 10,20 kg día⁻¹ para el ciruelo rojo y el plátano, respectivamente (Tabla 7).

Tabla 5: Números promedio de hojas por rama (h) y de ramas por árbol (R) para cada especie según categoría de altura.

	Categorías	(h)	(R)
Plátano	> 6 m	201,30	350,10
Jacarandá	0-6 m	19,00	167,2
	> 6 m	20,00	538,60
Paraíso	> 6 m	15,80	1621,50
Olmo	> 6 m	13,10	771,70
Ciruelo rojo	< 6 m	17,00	738,60

En la Tabla 8 se presentan los datos de estimación de capacidad sumidero de CO₂ por especie y el balance neto a nivel ciudad, considerando las emisiones por respiración.

Considerando que Sevilla presenta valores de humedad relativa ambiente muy bajos y, sumados a la diferencia en los niveles de irradiancia para el periodo invernal, es

altamente probable que esto lleve a subestimar los datos de fijación de CO₂ en la ciudad de Rosario.

Tabla 6: Superficie foliar total del arbolado viario de Rosario para las distintas especies

Especie	N° de Ejemplares	Categorías	Superficie foliar total (S) m ²
Plátano	11143,00	> 6 m	11547900,81
Jacarandá	2217,00	0-6 m	226810,34
	3617,00	> 6 m	1254808,40
Paraíso	20685,00	> 6 m	11381296,13
Olmo	2934,00	> 6 m	254876,49
Ciruelo rojo	349,00	< 6 m	6185,06

Tabla 7: Cantidad total de CO₂ fijado por las distintas especies en la ciudad

Especie	Categorías	Estaciones	Total fijado por categoría en la ciudad (Mg)	Total fijado por árbol por día (kg)
Plátano	> 6 m	Primavera	31021,92	10,20
		Verano		
		Otoño		
Jacarandá	0-6 m	Otoño	553,46	0,91
		Verano		
		Invierno		
	> 6 m	Otoño	3061,99	3,10
		Verano		
		Invierno		
Paraíso	> 6 m	Primavera	36807,15	6,52
		Verano		
		Otoño		
Olmo	> 6 m	Primavera	533,02	0,67
		Verano		
		Otoño		
Ciruelo rojo	< 6 m	Primavera	11,91	0,13
		Verano		
		Otoño		

Tabla 8: Estimación de la capacidad sumidero de CO₂

Especie	Categorías	Mg CO ₂ Respirado	Balance neto de CO ₂ de la ciudad (Mg)
Plátano	> 6 m	8629,08	22392,84
Jacarandá	0-6 m	150,72	399,22
	> 6 m	833,83	2208,65
Paraíso	> 6 m	3401,84	33405,31
Olmo	> 6 m	38,09	514,93
Ciruelo rojo	< 6 m	3,70	8,21
Total secuestrado en la ciudad:			58943,45

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se puede observar que existe una importante diferencia en la capacidad de captura de CO₂ entre las distintas especies, esta información es útil a la hora de seleccionarlas para gestionar y planificar un arbolado urbano más eficiente en la capacidad fijadora de dióxido de carbono, y así encaminarnos hacia la eficiencia energética y de lucha contra el cambio climático en la ciudad de Rosario.

Por todo esto es importante obtener datos propios de cada ciudad para contrastar con otras y continuar con el estudio del resto de las especies que componen el arbolado, tal cual se está trabajando en otras ciudades del mundo (Nowak y Crane, 2002; Stoffberg, 2006; Kiran & Kinnary, 2011).

El CO₂ secuestrado en toda la ciudad en el año por estas especies fue de 58943,45 Mg. Considerando que los árboles analizados representan solo el 25 % del arbolado viario (Municipalidad de Rosario, 2005), se podría estimar que la capacidad sumidero del total del arbolado alcanzaría para mitigar las emisiones ocasionadas por los 500000 autos rosarinos que se desplazan en promedio 2400 km al año, con una emisión promedio de 150 g de CO₂ km⁻¹. (CeroCO₂, 2011)

REFERENCIAS

- Agencia Estatal de Meteorología de España. (2011). Valores Climatológicos Normales. Sevilla Aeropuerto. Acceso: <http://www.aemet.es/es/elclima/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?l=5783&k=and>
- CeroCO₂. (2011). Cálculo de emisiones por desplazamientos por carretera. Acceso a Internet: <http://www.ceroCO2.org/calcular/calculadora3/default.aspx>
- Convención Marco sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas (CMCC). (1997). Kyoto, Japón.
- Dirección General de Estadística, Municipalidad de Rosario, Santa Fe, Argentina. (2008), acceso a internet: http://www.rosario.gov.ar/sitio/caracteristicas/estadistica_1.jsp?nivel=Caract&ult=C_2
- Figueroa Clemente, M.E. y Redondo Gómez, S. (eds.). (2007). Los sumideros naturales de CO₂. Una estrategia sostenible entre el cambio climático y el Protocolo de Kyoto desde las perspectivas urbana y territorial. Muñoz Moya Ed. España.
- Figueroa Clemente, M.E.; Luque Palomo, M.T.; Redondo Gómez, S.; Rubio Casal, A.E.; Vecino Bueno, I.; Mateos Naranjo, E.; Fernández Muñoz, F. y Castillo Segura, J.M. (2007). La vegetación urbana como sumidero de dióxido de carbono. Agencia de la Energía de Sevilla. Sevilla, España.
- Gayoso, J. y Guerra J. (2002). Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Proyecto Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Valdivia. 8 pp.
- IPCC, (2007): Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.
- Kiran, G.S. y Kinnary, S. 2011. Carbon sequestration by urban trees on roadsides of Vadodara city. International Journal of Engineering Science and Technology 3: 3066-3070.
- Mendoza N. E. (2006). Capítulo 12: Conectividad de espacios verdes en el municipio de Rosario, provincia de Santa Fe. Análisis de imágenes satelitales y aplicación de índices del paisaje. En: Crecimiento urbano y sus consecuencias sobre el entorno rural. El caso de la Ecorregión Pampeana.
- Montaldi, E. R. (1995). Principios de Fisiología Vegetal. Ediciones Sur.
- Municipalidad de Rosario. (2005). Censo de arbolado de alineación. Municipalidad de Rosario.
- Nowak, D.J. y Crane, D.E. 2002. Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. Environmental Pollution 116:381-389
- Servicio Meteorológico Nacional, 2011. Acceso: <http://www.smn.gov.ar/?mod=clima&id=30&provincia=Santa%20Fe&ciudad=Rosario>
- Stoffberg, G.H. (2006). Growth and carbon sequestration by street trees in the city of Tshwane, South Africa. Ph.D. Thesis University of Pretoria.
- Voogt J. (2008). Islas de Calor en Zonas Urbanas: Ciudades Más Calientes. Acceso a Internet: <http://www.actionbioscience.org/esp/ambiente/voogt.html#primer>