

SUMIDEROS BIOLÓGICOS. SECUESTRO DE CARBONO EN AGRICULTURA

Jesús A. Betrán Aso

Ingeniero Agrónomo (colegiado 665 COIAANPV)

Director del Laboratorio Agroambiental (DGA)

Profesor Asociado Universidad de Zaragoza



INSTITUTO ARAGONÉS DE ADMINISTRACIÓN PÚBLICA

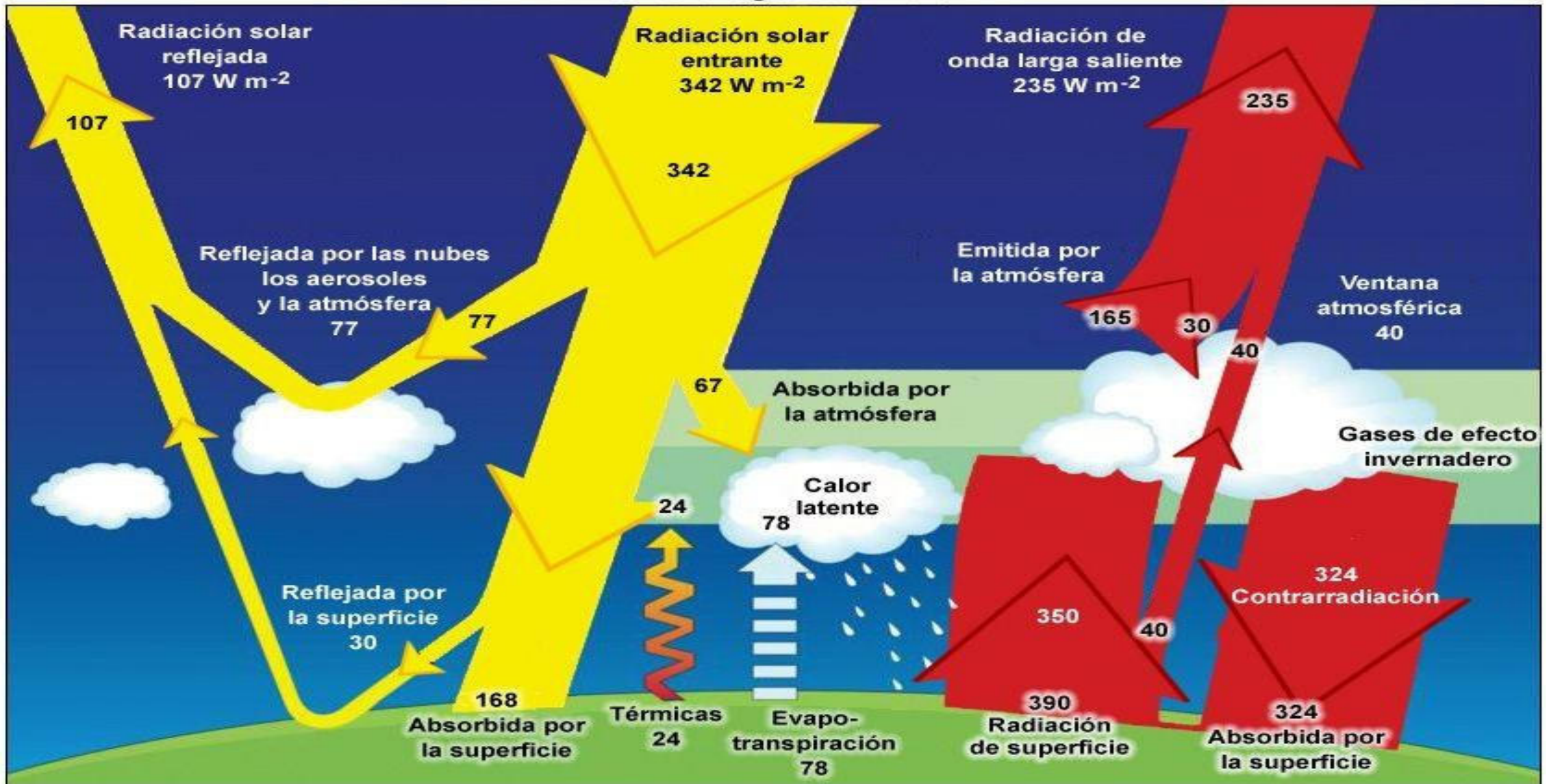
Plan de Formación 2025 del Instituto Aragonés de Administración Pública

“MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO: SUMIDEROS DE CARBONO”

2025/0258-ZA

octubre 2025

Balance energético Sol-Tierra



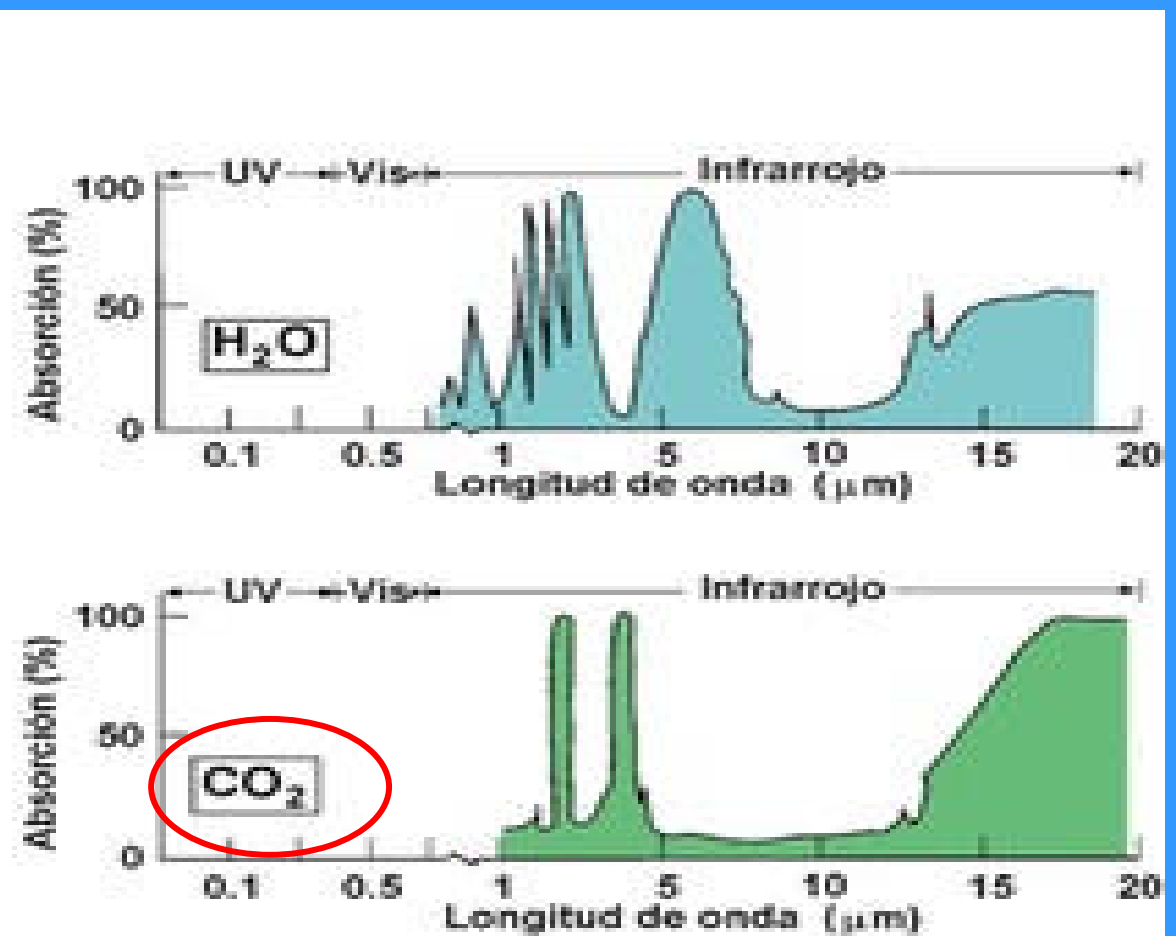
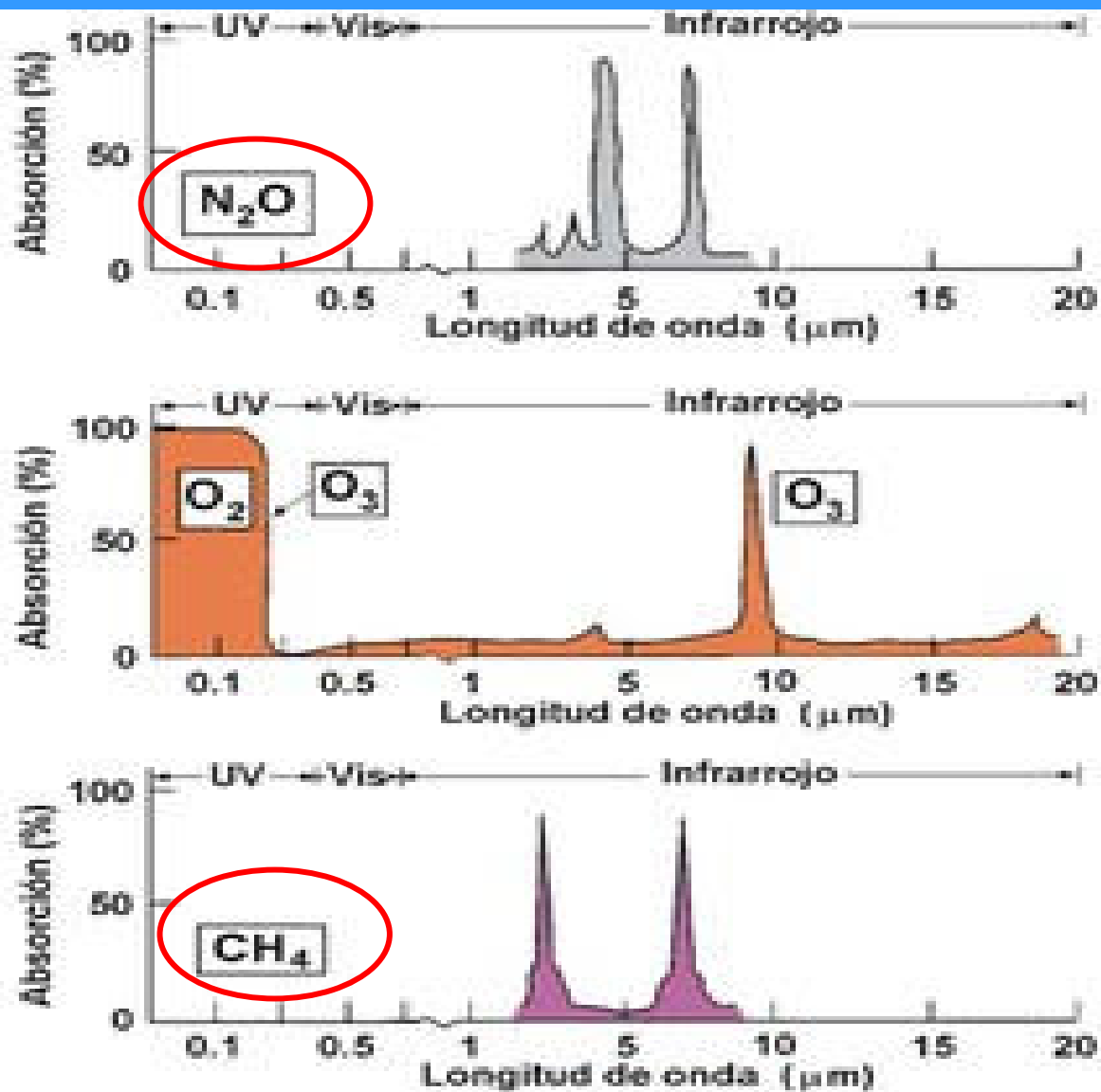


Figura 2. Coeficientes de absorción (en %) por gases atmosféricos, en función de la longitud de onda del espectro electromagnético, distinguiéndose los intervalos de radiación ultravioleta (UV), visible (Vis) e infrarrojo.

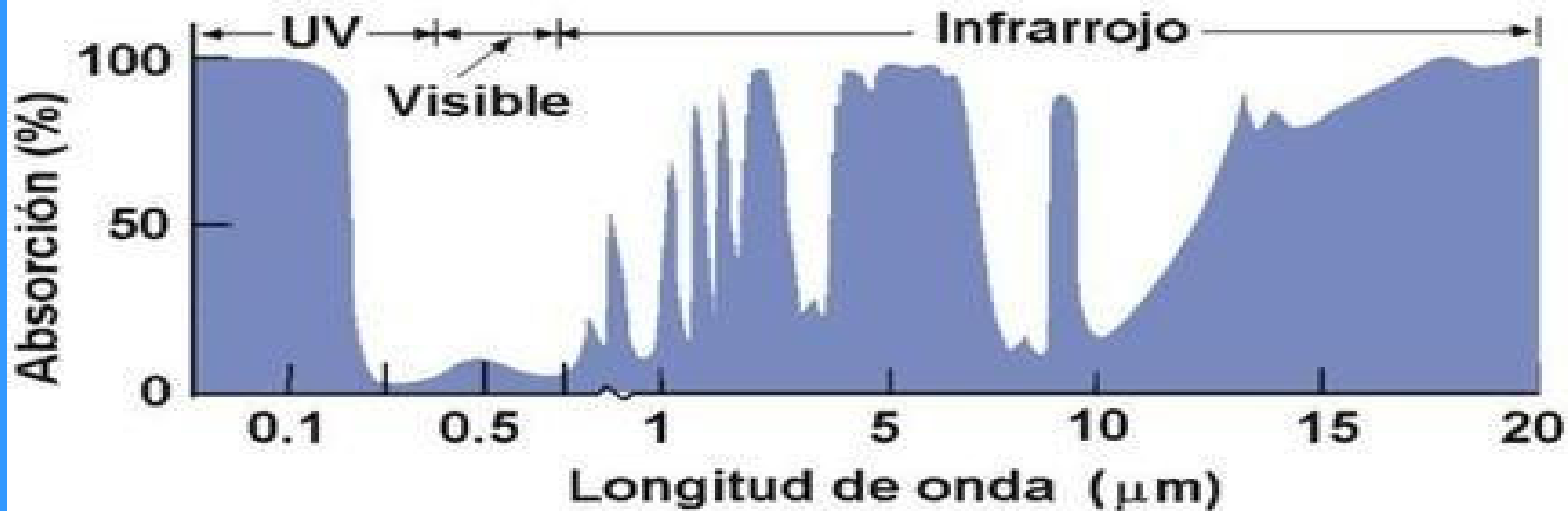
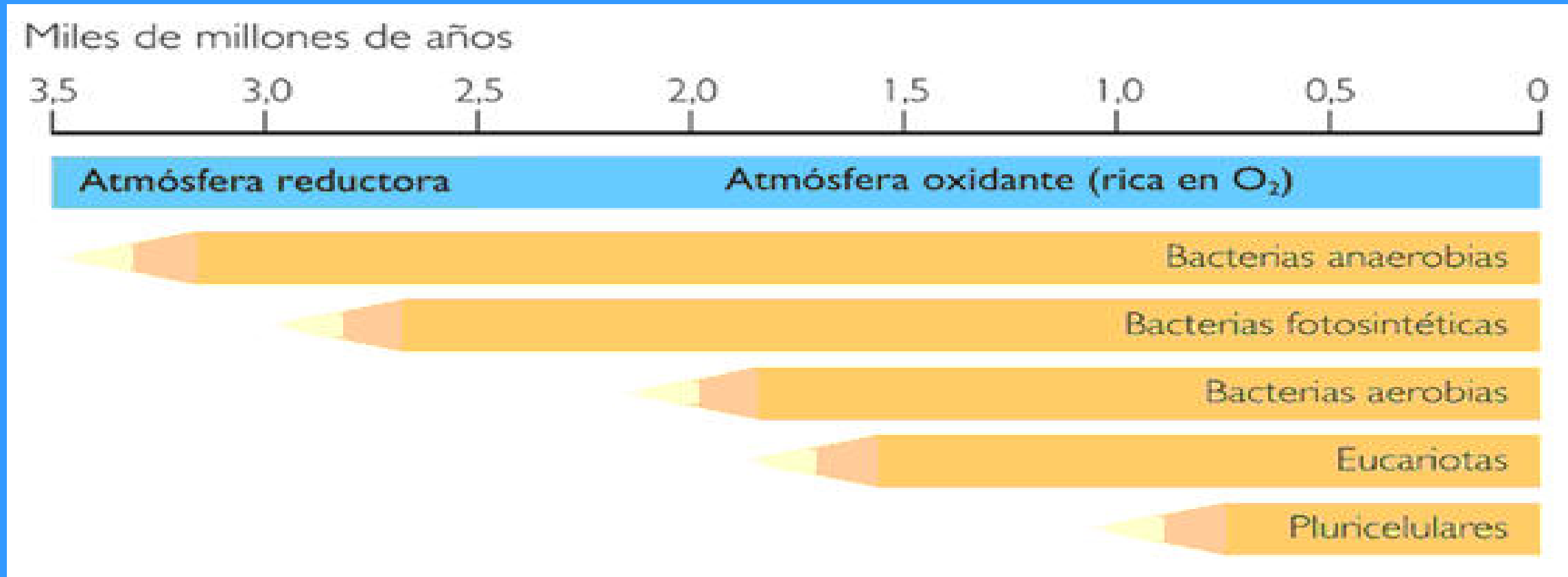


Figura 3. Absorción total de radiación por gases atmosféricos (suma de las contribuciones mostradas en la Figura 2)

¿DESDE CUANDO “TAN POCO” CO₂?



HACE 2400 Ma NO HABÍA OXÍGENO EN LA ATMÓSFERA TERRESTRE

APARECE LA FOTOSÍNTESIS

EN UNOS 2000 Ma MÁS EL OXÍGENO ALCANZA EL 21 % ACTUAL

EVOLUCIÓN DEL CO₂

- Concentración atmosférica de dióxido de carbono (CO₂)
 - LA FOTOSÍNTESIS “MANTENÍA” EL EQUILIBRIO
 - NUEVA SITUACIÓN:
 - aumento constante desde la década de 1960
 - 1960 317 ppm
 - 2004 377,1 ppm
 - **2023** **supera las 421**
 - **2024** **423,9 ppm**
 - Red de estaciones de monitoreo de la Vigilancia Atmosférica Global

EL CARBONO

- **CARBONO (C)**
 - 4º elemento más abundante en el universo.
 - Solo aproximadamente 0,025 % de la corteza terrestre.
- **SU CICLO DESCRIBE VARIAS RAMAS:**
 - **CICLO BIOLÓGICO**
 - **FOTOSÍNTESIS**
 - **Muy activo**
 - **CICLO BIOEGOQUÍMICO**
 - **ROCAS CON CARBONO**
 - **CARBONATOS (CARBONATO CÁLCICO)**
 - **Prácticamente inertes**
 - **COMBINACIÓN DE AMBOS**
 - **COMBUSTIBLES FÓSILES**

MÁS QUE CO₂

- CARBONO (C)

- ELEMENTO “VITAL”

- LA VIDA TERRESTRE ESTÁ BASADA EN EL C

- CONSECUENCIA:

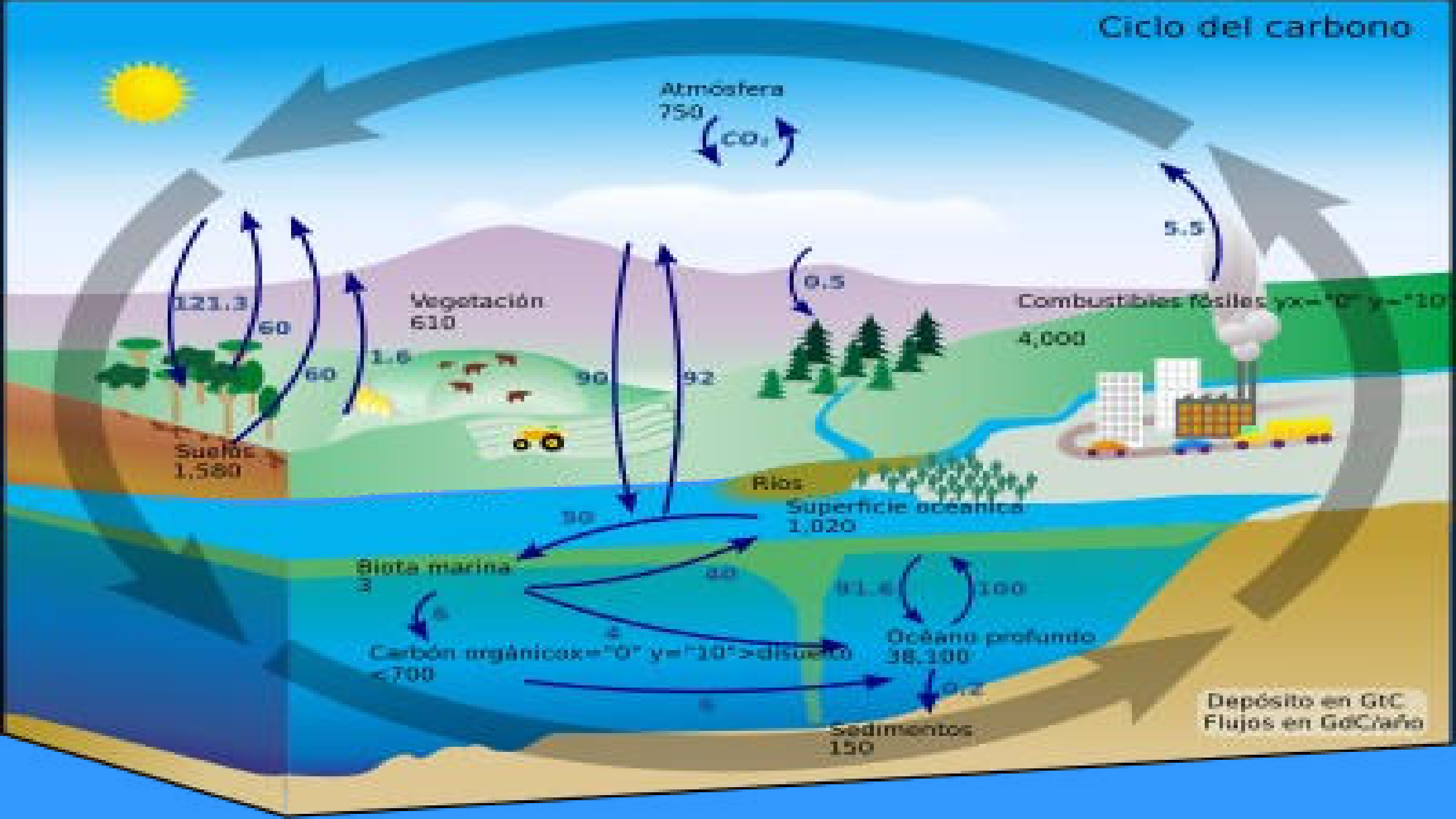
- UNA CANTIDAD MUY IMPORTANTE DEL CARBONO ESTÁ PRESENTE EN LA TIERRA EN “SUMIDEROS” BIOLÓGICOS.

- EL C ESTA PRESENTE EN LA VIDA Y EN SUS PRODUCTOS DE DEGRADACIÓN (CO₂).

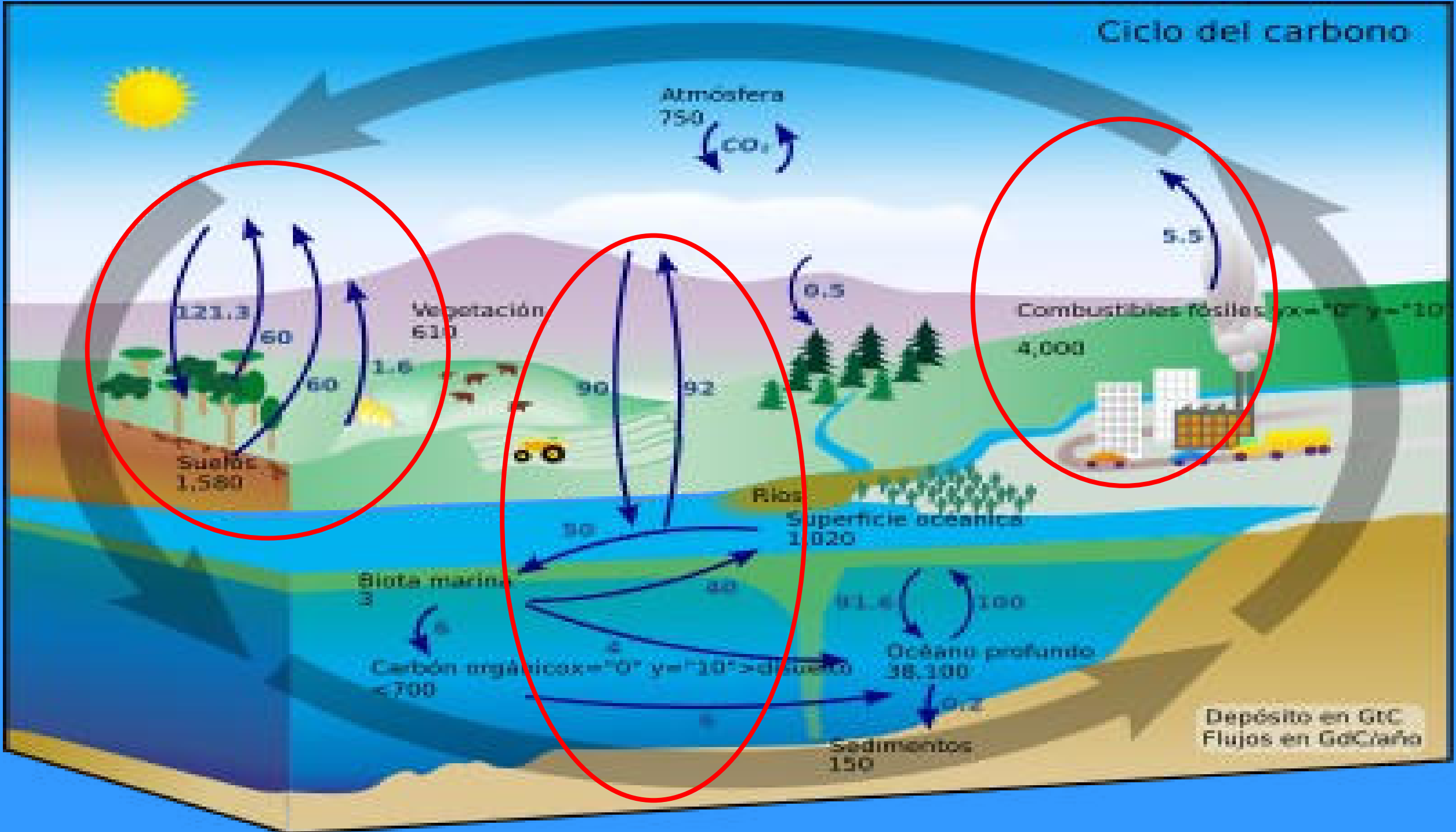
CLAVE EN EL SOPORTE DE LA VIDA

- **CICLO DEL CARBONO**
– **CICLO DE LA MATERIA ORGÁNICA**
- **CICLO DEL AGUA**
- **CICLO DEL NITRÓGENO**
- **CLAVES PARA QUE LA TIERRA SOPORTE VIDA**
- **....Y PARA LA AGRICULTURA.**

Ciclo del carbono



Ciclo del carbono



LA FOTOSÍNTESIS



CARBOHIDRATOS + OXÍGENO

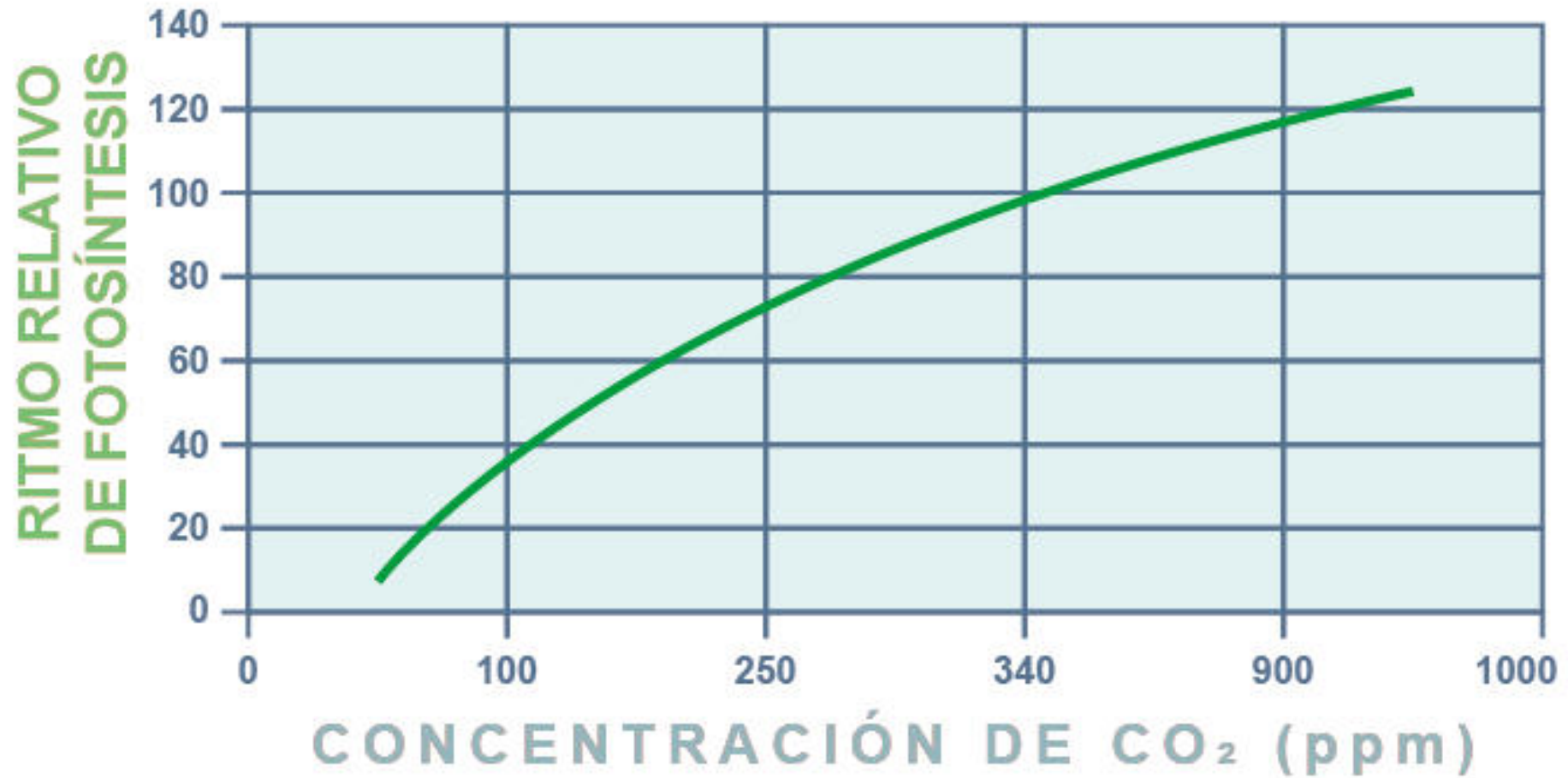
FOTOSÍNTESIS (AUTÓTROFOS)



RESPIRACIÓN (HETERÓTROFOS)



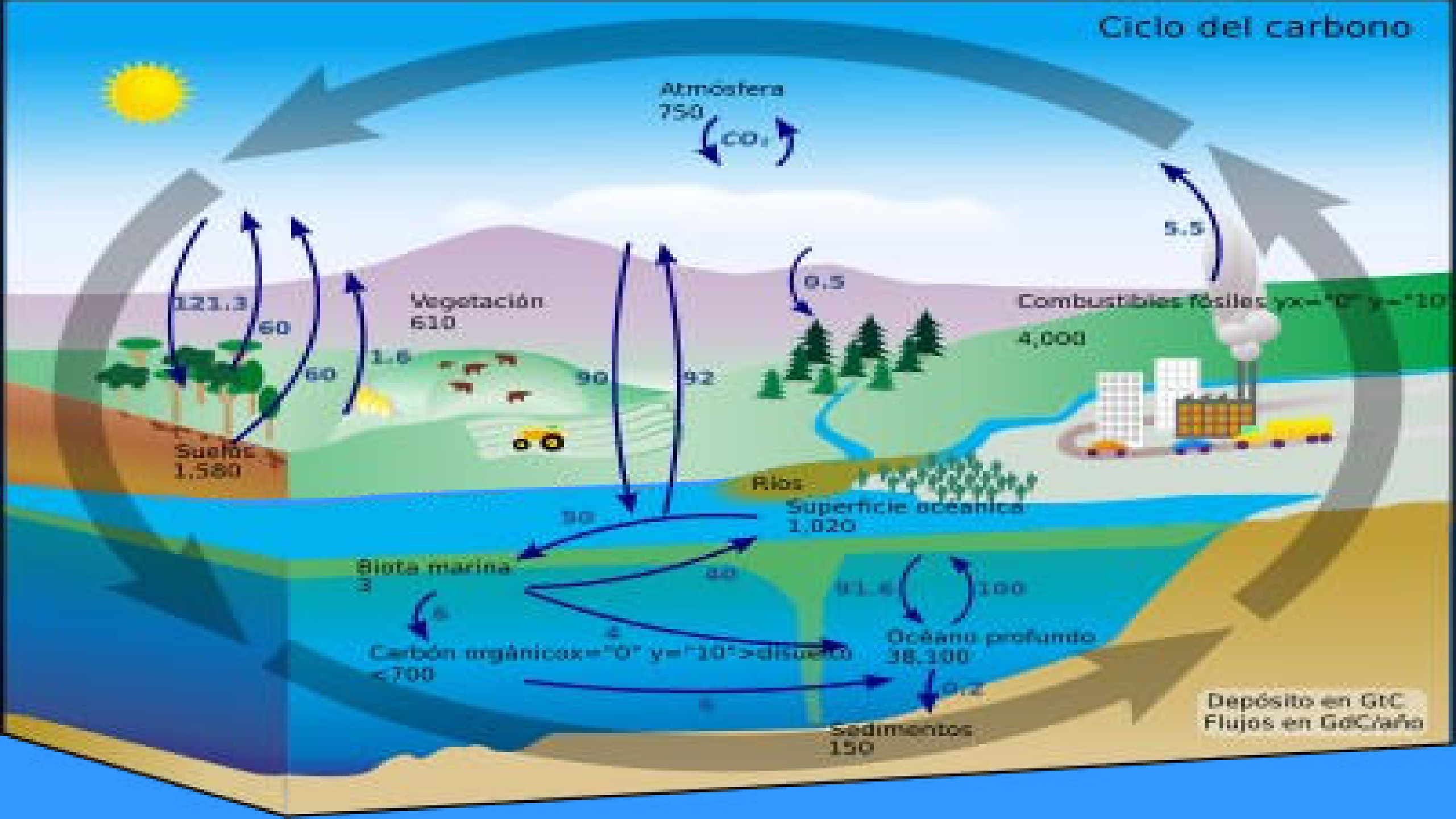
VELOCIDAD DE FOTOSÍNTESIS



SUMIDEROS DE CARBONO

- SUMIDEROS DE CARBONO
 - OCÉANOS 38.100 Gt (miles de millones de t)
 - **SUELOS 1.580 Gt**
 - BOSQUES 650 Gt
 - ATMÓSFERA 750 Gt

Ciclo del carbono



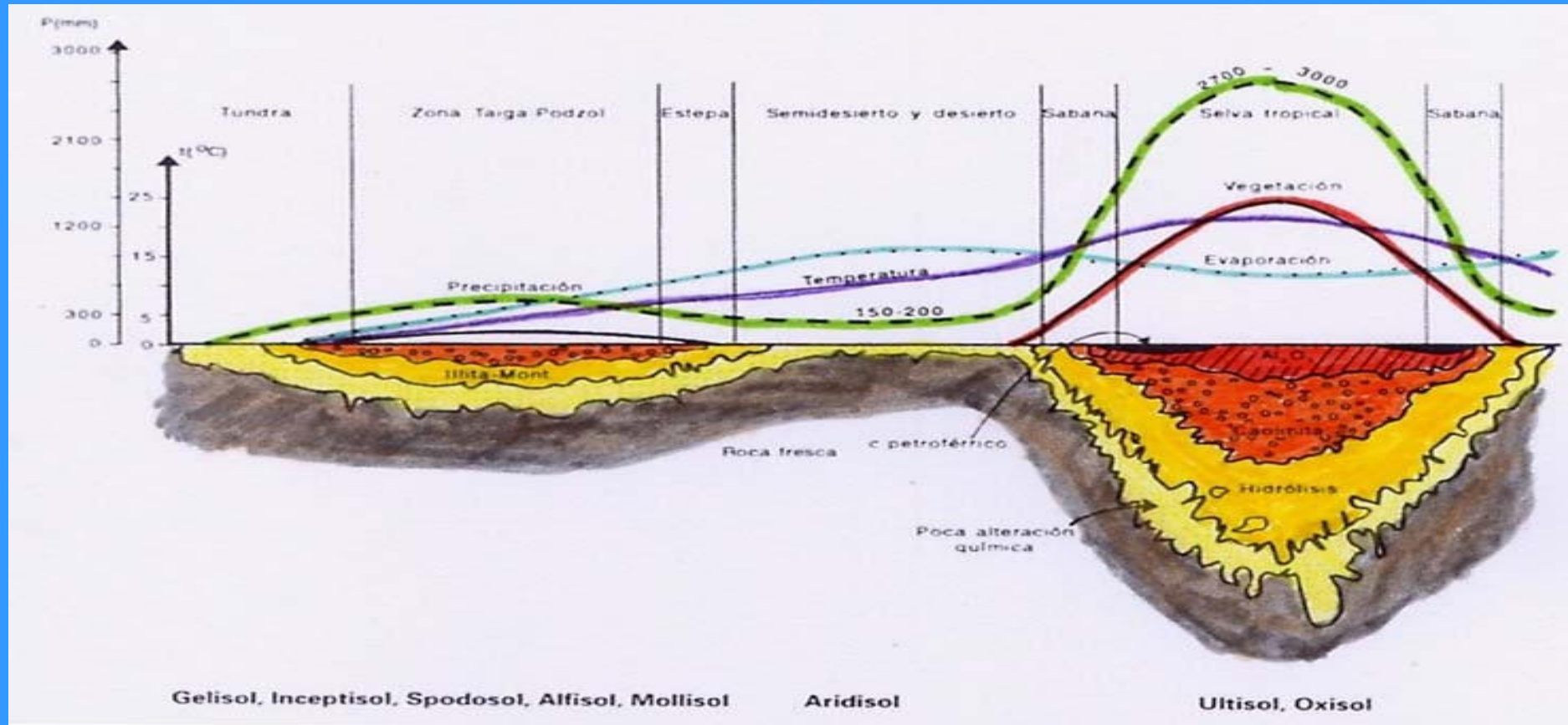
EL SUELO COMO SUMIDERO

- 1kg materia orgánica fijado equivale a 0,58 kg de carbono fijado (2,13 kg de CO₂).
- Un suelo con un 2 % de materia orgánica en los primeros 30 cm de profundidad, contiene el equivalente a 166 t/ha de CO₂ fijado.
 - 16,6 kg/m² de CO₂ fijado.
- Un 0,1% de MOS equivale a 830 g/m² de CO₂

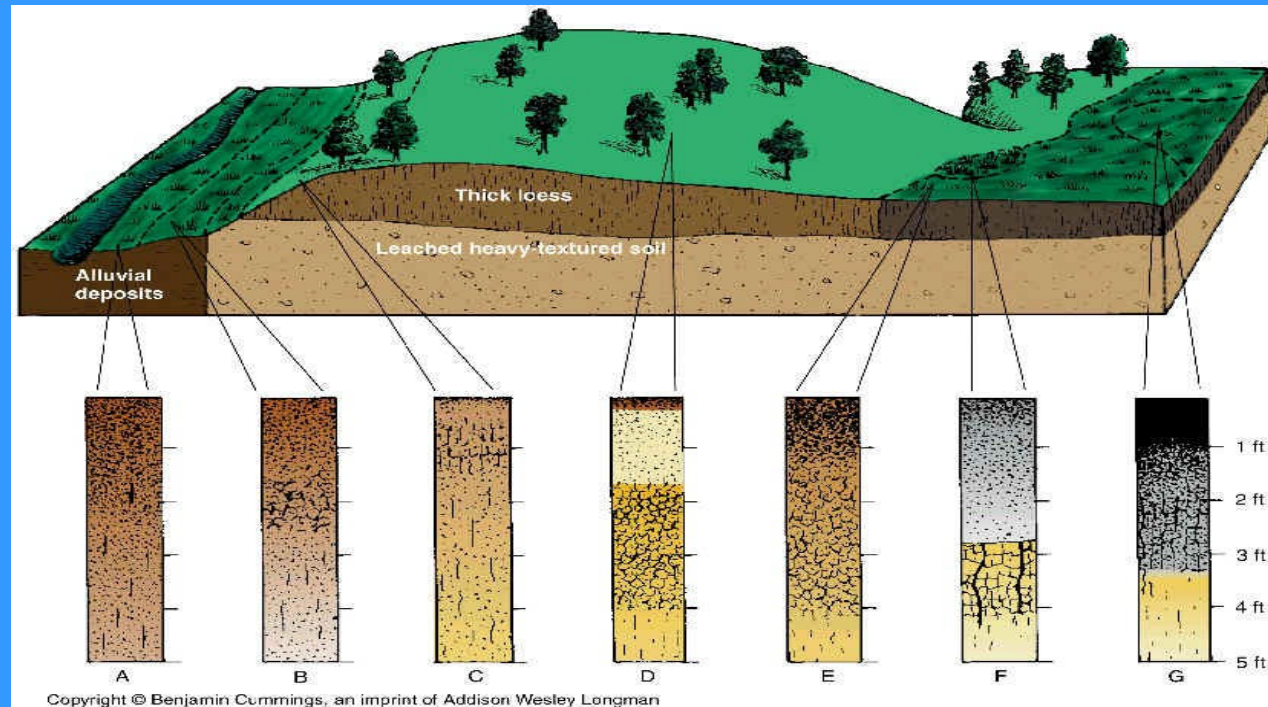
PRESENCIA Y DISTRIBUCIÓN

- LA CANTIDAD DE MATERIA ORGÁNICA ESTA DETERMINADA POR:
 - CLIMA
 - VEGETACIÓN
 - MANEJO
- NORMALMENTE DISMINUYE EN PROFUNDIDAD.

EL CLIMA tiene una acción directa sobre la humedad y temperatura del suelo y una acción indirecta a través de la vegetación factores todos ellos controladores de la velocidad e intensidad de los procesos de meteorización.



La potencia de este perfil es función del clima y la topografía



Suelo: capa superior de la superficie sólida del planeta, formada por meteorización de las rocas, en la que están o pueden estar enraizadas las plantas y que constituye un medio ecológico particular para ciertos tipos de seres vivos.

El suelo es una capa dinámica, pues en el tienen lugar complejos procesos físicos y biológicos.

DISTRIBUCIÓN.







SAMPLE

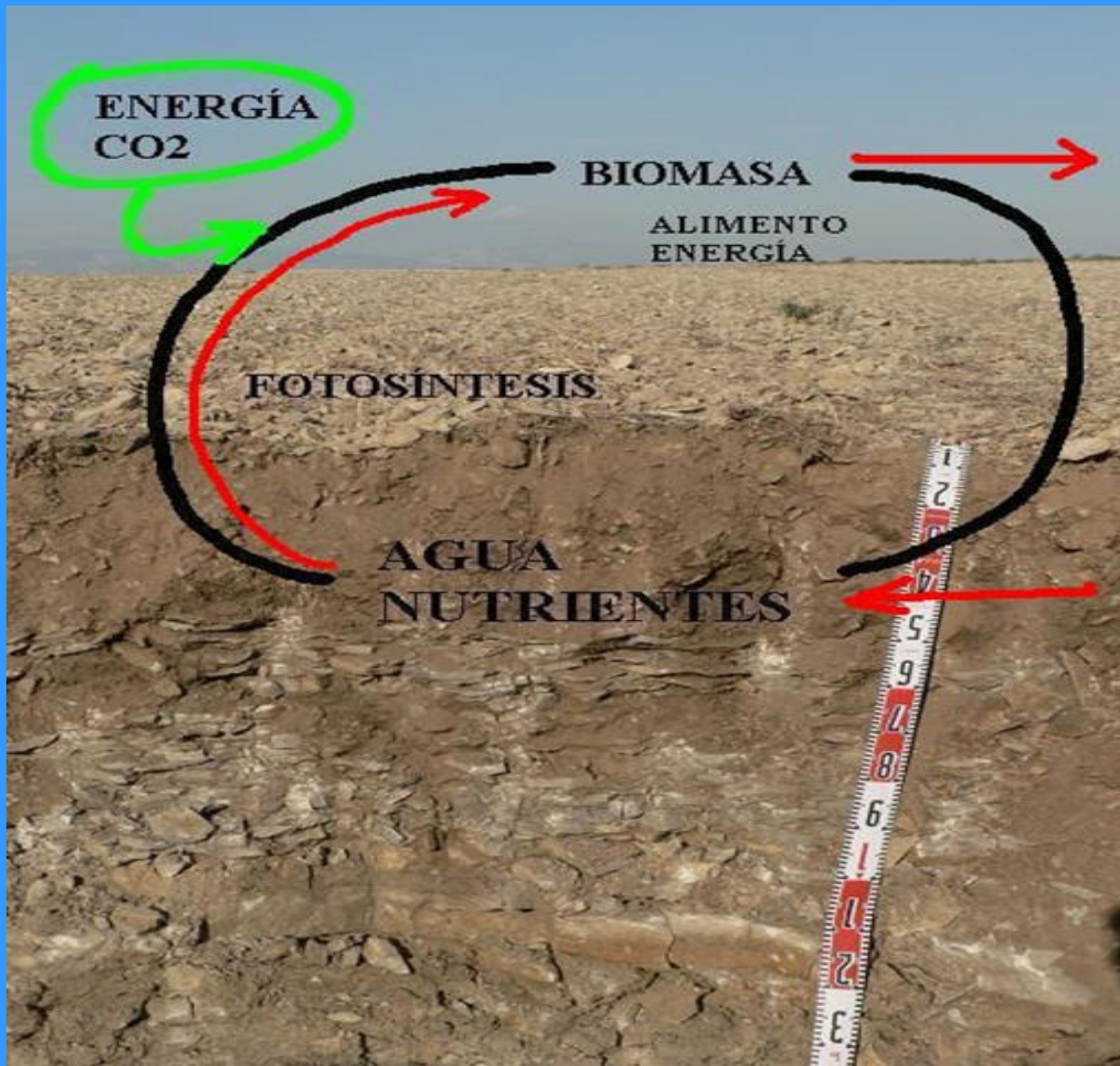
SAMPER

101

29/11/05

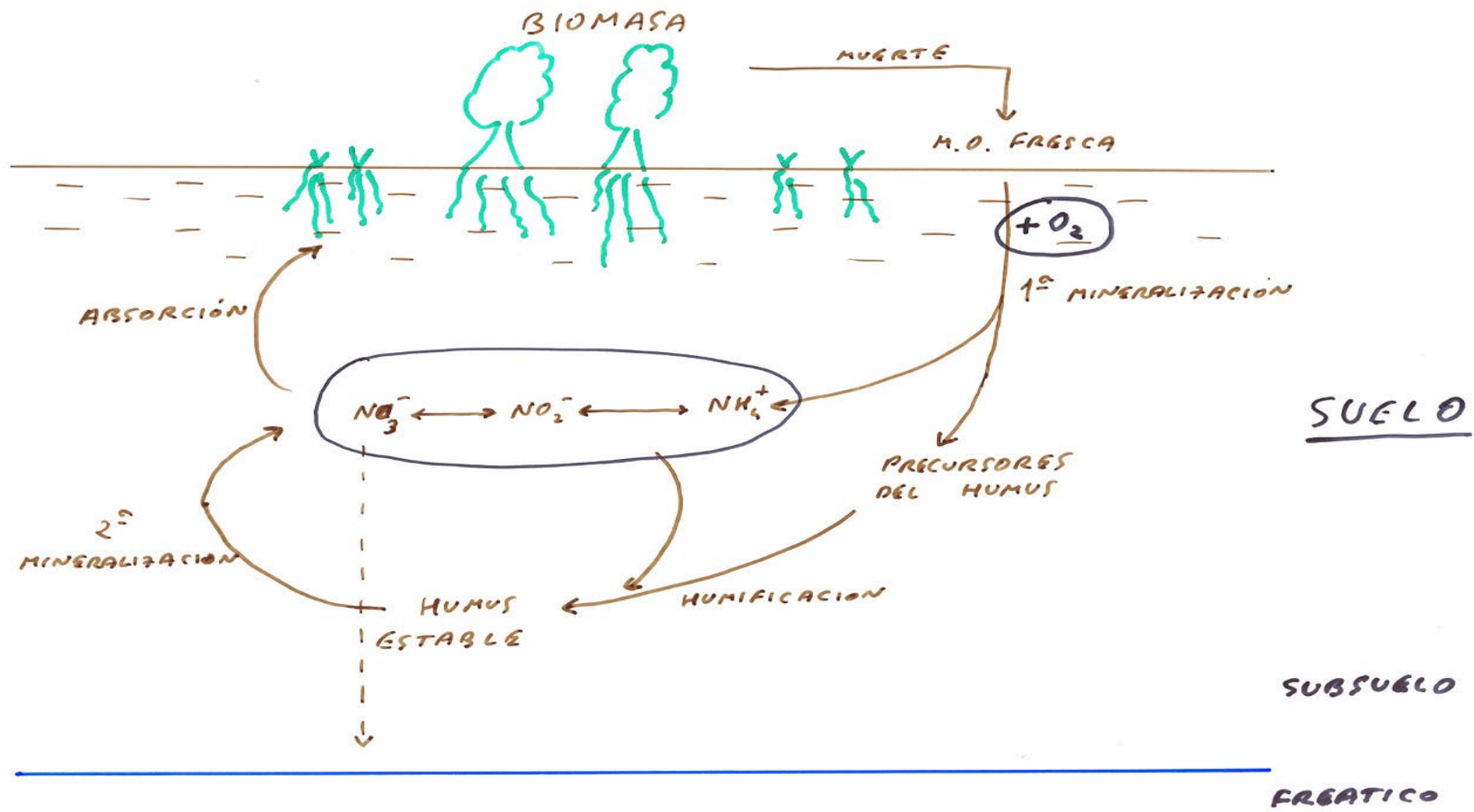






CICLO DE LA MATERIA ORGÁNICA.

- **DE FORMA NATURAL (EN LAS TIERRAS EMERGIDAS) SE PRODUCE POR COMPLETO EN EL SUELO.**
- **CUMPLE UNA FUNCIÓN PRIMORDIAL EN EL “RECICLADO” DE NUTRIENTES.**



BALANCE

- **m.o. ACTUAL = m.o. ANTERIOR +
(ENTRADAS – SALIDAS).**
- **ENTRADAS = FORMACIÓN DE HUMUS**
 - BIOMASA MUERTA (COEFICIENTE ISOHUMICO).
- **SALIDAS = MINERALIZACIÓN**
 - COEFICIENTE DE MINERALIZACIÓN

CREACIÓN - MINERALIZACIÓN

- CREACIÓN – **COEFICIENTE ISOHÚMICO**
 - $\text{APORTES} * \text{COEFICIENTE ISOHÚMICO (0,1 a 0,5)}$
- MINERALIZACIÓN - **COEFICIENTE DE MINERALIZACIÓN.**
 - $\text{m.o. mineralizada} = k * \text{contenido de m.o.}$
 - DEPENDE DE LA TEXTURA, CARBONATOS, HUMEDAD Y TEMPERATURA.
 - PARA LA ZONA MEDITERRANEA:
 - » SECANO 0.8 a 1.5 %
 - » REGADÍO 1.5 a 2.0 %
 - » INVERNADERO hasta 4 %

MODIFICADORES DEL CICLO DE LA MATERIA ORGÁNICA

- **PRODUCCIÓN DE BIOMASA**

- MAYOR CANTIDAD DE BIOMASA

MÁS MATERIA ORGÁNICA

- **LABOREO.**

- MÁS LABOREO

MÁS PÉRDIDAS

- **GESTIÓN DE RESTOS**

- INCORPORACIÓN
- ELIMINACIÓN

INCREMENTO DE M.O.
NO FIJACIÓN DE CO₂

- **CULTIVOS “DE SERVICIO”**

- CULTIVOS DESTINADOS A MEJORAR EL SUELO

- ...

- **ROTACIÓN DE CULTIVOS.**

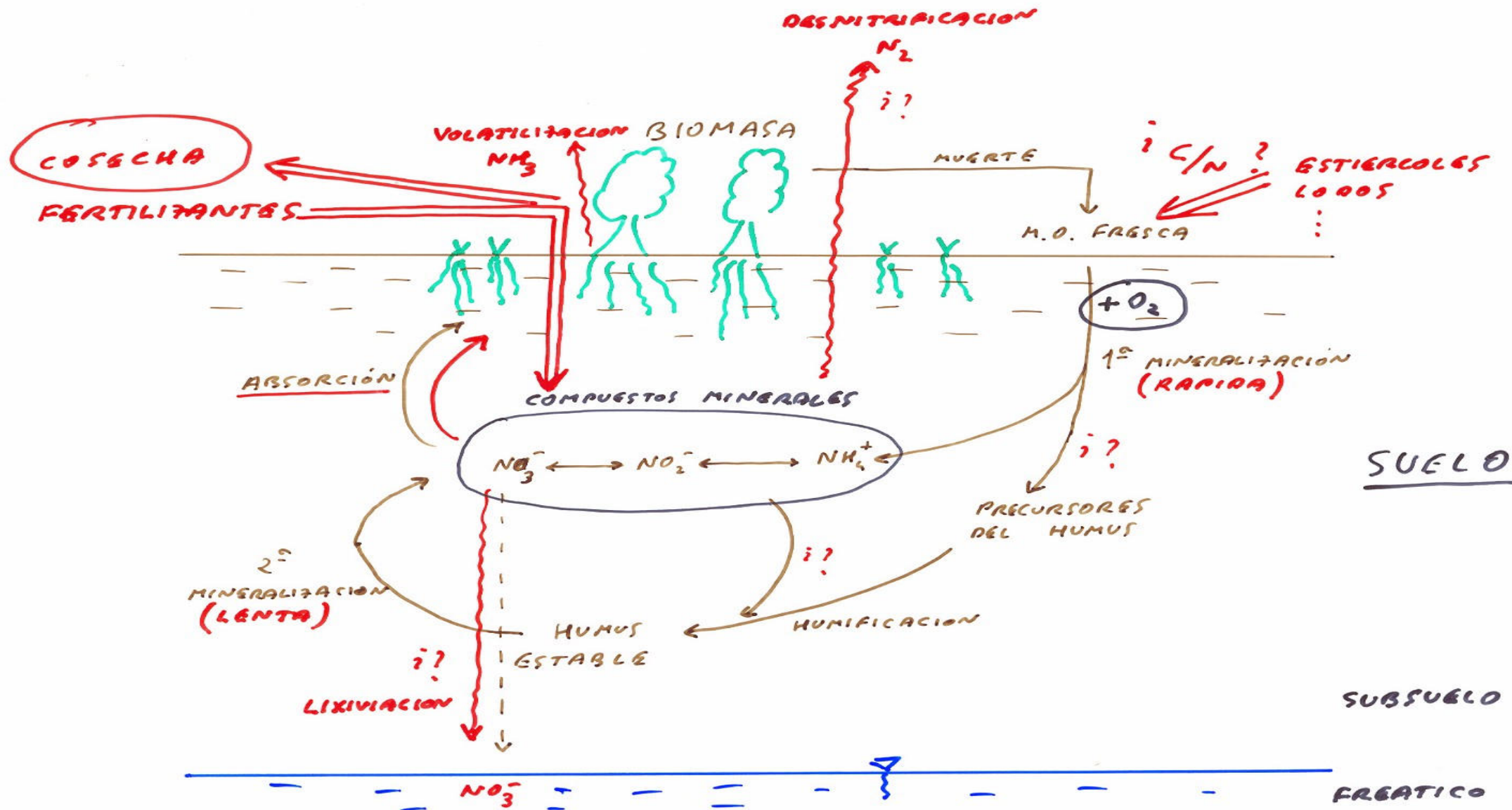


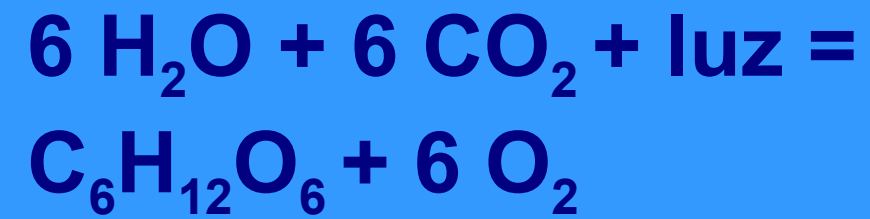
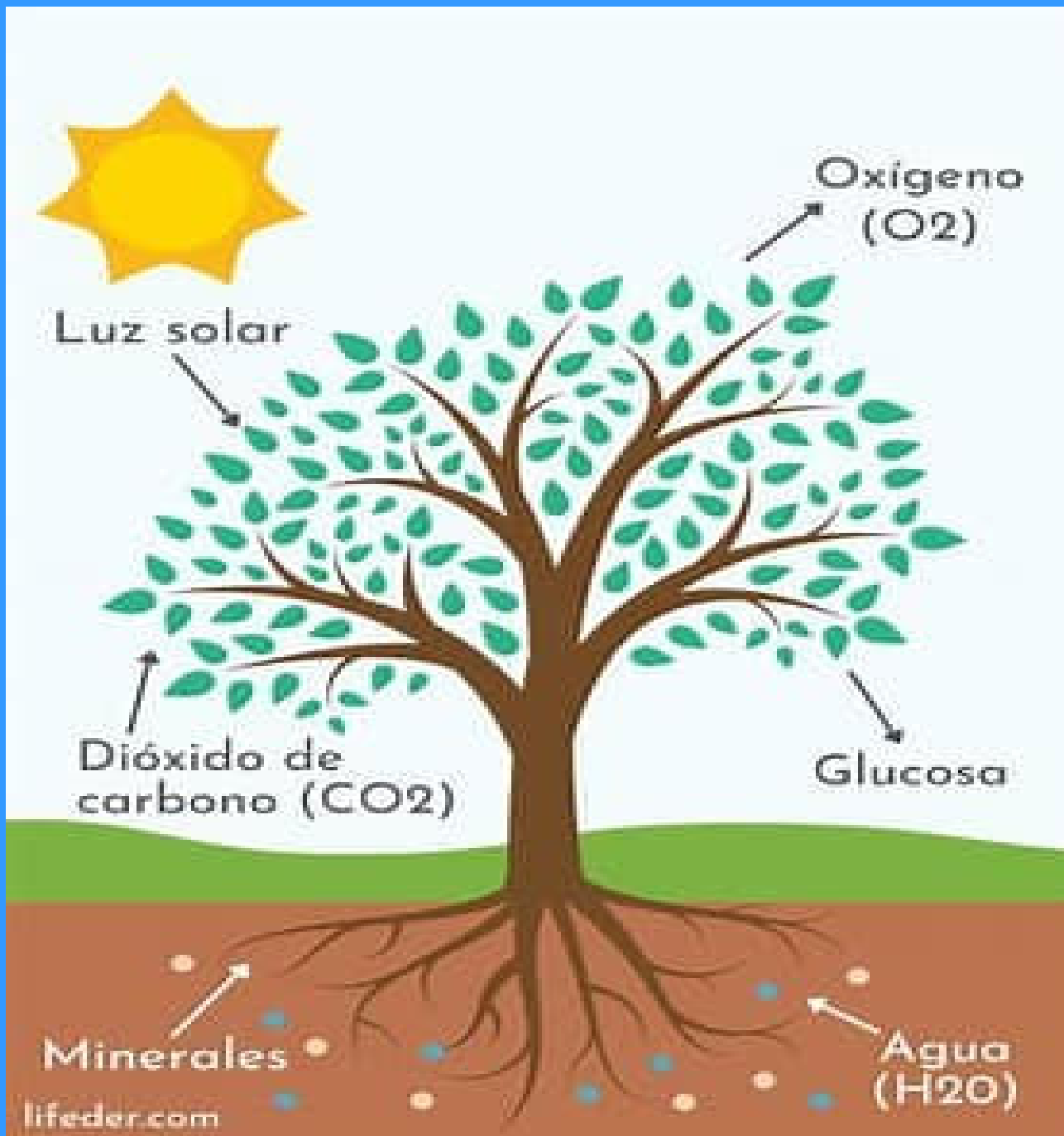


“AGRICULTURA DEL CARBONO”

- **PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS + FIJACIÓN DE CO₂**
 - PROPIO INTERES DEL AGRICULTOR (INCREMENTAR M.O.)
 - MEDIDAS
 - PAC
 - SIEMBRA DIRECTA
 - ROTACIÓN DE CULTIVOS
 - REAL DECRETO DE NUTRICIÓN SOSTENIBLE
 - DIRECTIVA SALUD DEL SUELO
 - CRÉDITOS DE CARBONO







PRODUCCIÓN DE GLUCOSA

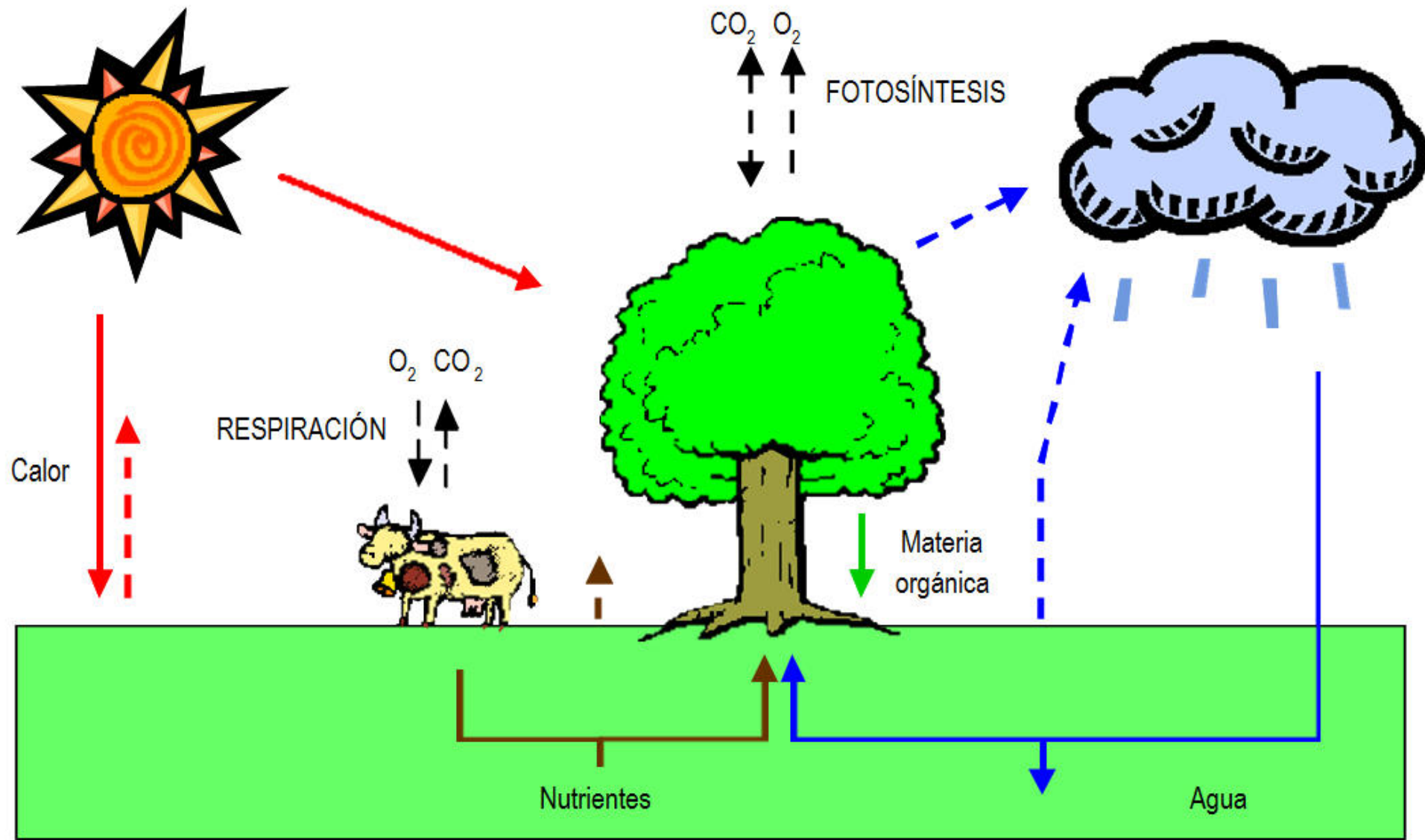
RELACIÓN CON LA AGRICULTURA

- ¿Qué tiene que ver el CO₂ con la agricultura?
 - **TODO**
 - La agricultura participa en la emisión de los principales gases de efecto invernadero.
 - La fotosíntesis depende del CO₂.
 - El suelo agrícola es uno de los principales sumideros de carbono fijado.

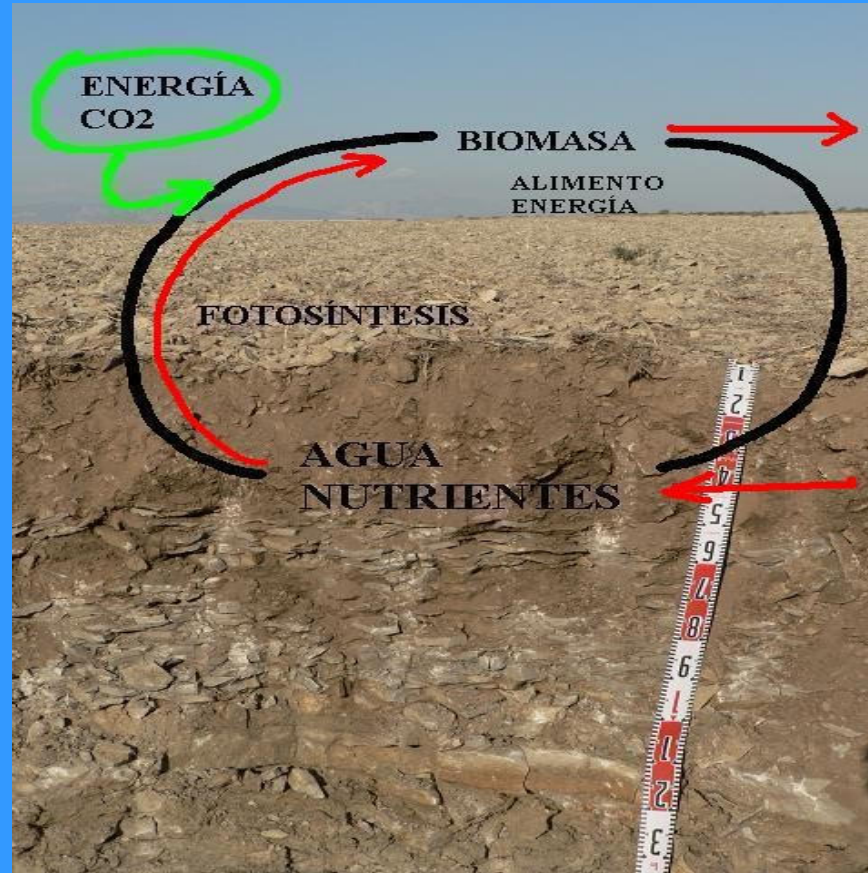
RELACIÓN CON LA AGRICULTURA

- **El uso de la tierra, incluida la agricultura y los bosques, representa aproximadamente el 10% de las emisiones globales de CO₂, y casi el 25% de todos los gases de efecto invernadero como el CH₄ y el N₂O.**

- 2015 Año internacional del suelo (FAO)
 - PRETENDE CONCIENCIARNOS DE QUE:
 - **EL SUELO ES ESENCIAL EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS**
(LA MAYOR PARTE DE NUESTRA ALIMENTACIÓN PROCEDE DE EL).
 - **DEBEMOS CONSERVAR EL SUELO FERTIL.** EL SUELO PERDIDO ES IRRECUPERABLE.



El suelo como regulador de los ecosistemas terrestres



Del CO₂ a los alimentos.

La agricultura del carbono



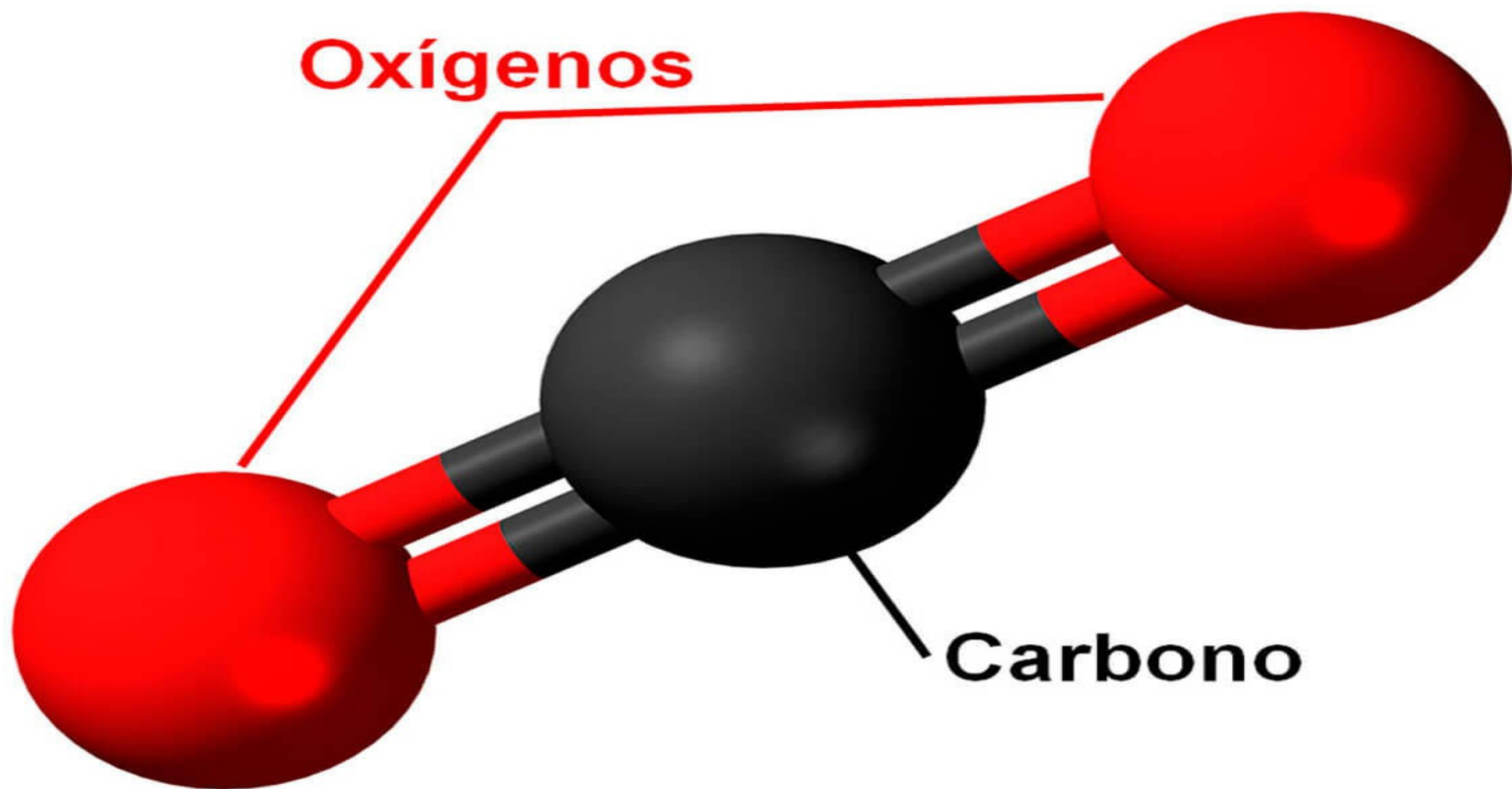
Albalatillo

10 de mayo de 2025.

- **Jesús Betrán Aso**
- Miembro de la AAH

EL CARBONO ES MÁS QUE CO₂

- SUMIDEROS BIOLÓGICOS PRINCIPALES
- RELACIONES ENTRE ELLOS ---- SUELO
-







Organización de las Naciones Unidas
para la Alimentación y la Agricultura

SUELO SALUDABLE: CLAVE PARA LA SEGURIDAD
ALIMENTARIA Y NUTRICIÓN PARA TODOS

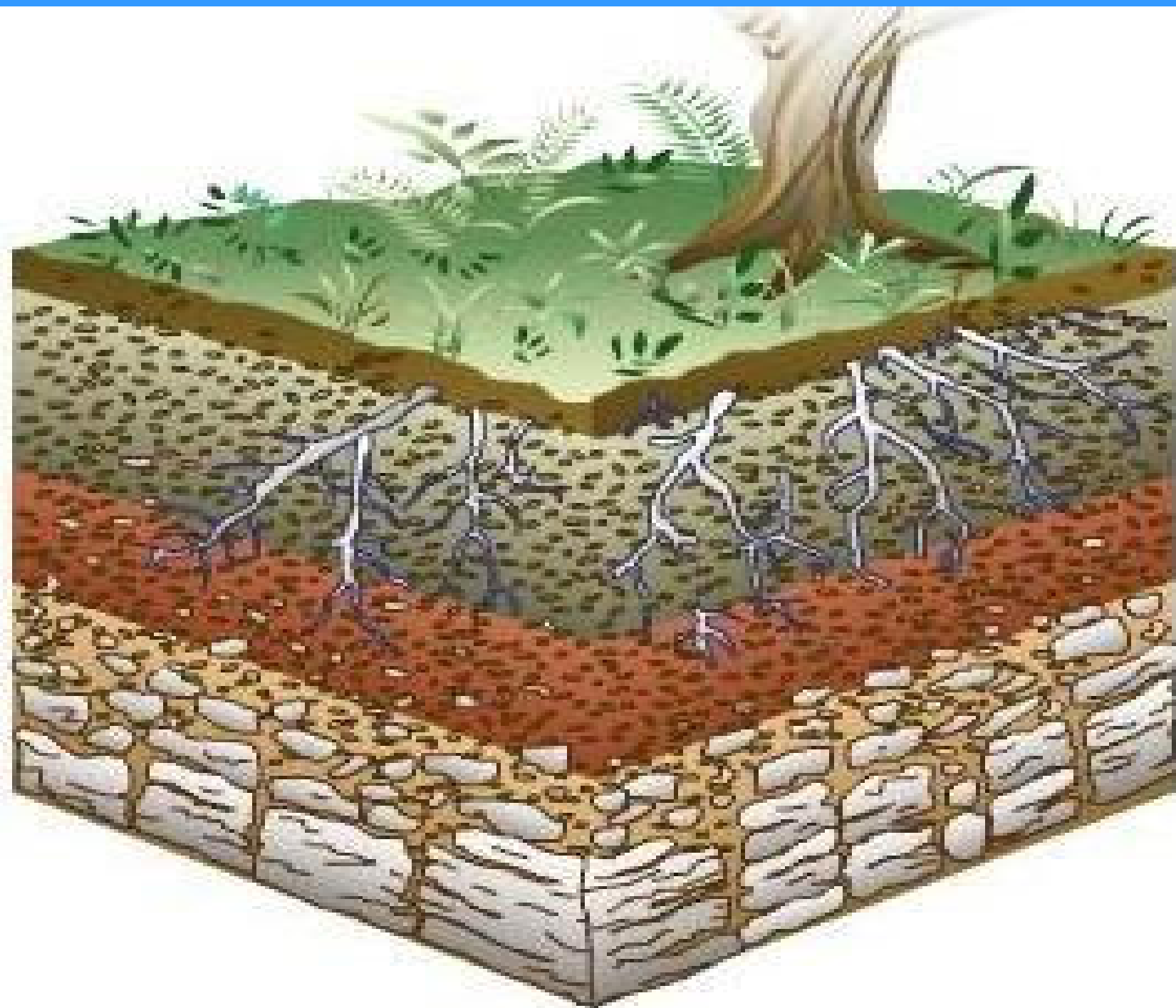


VIENEN DEL SUELO



Día Mundial del Suelo
5 Diciembre

- El ritmo actual de crecimiento de la población mundial es de casi **7 millones de personas al mes**, 84 millones al año (más de dos veces la población de España)
- Cada día hay que proveer alimentos para una “nueva ciudad” de 240.000 habitantes











Cultivo en la cuenca del Nilo (19 km de ancho).

- Zonas de océano “muertas”.

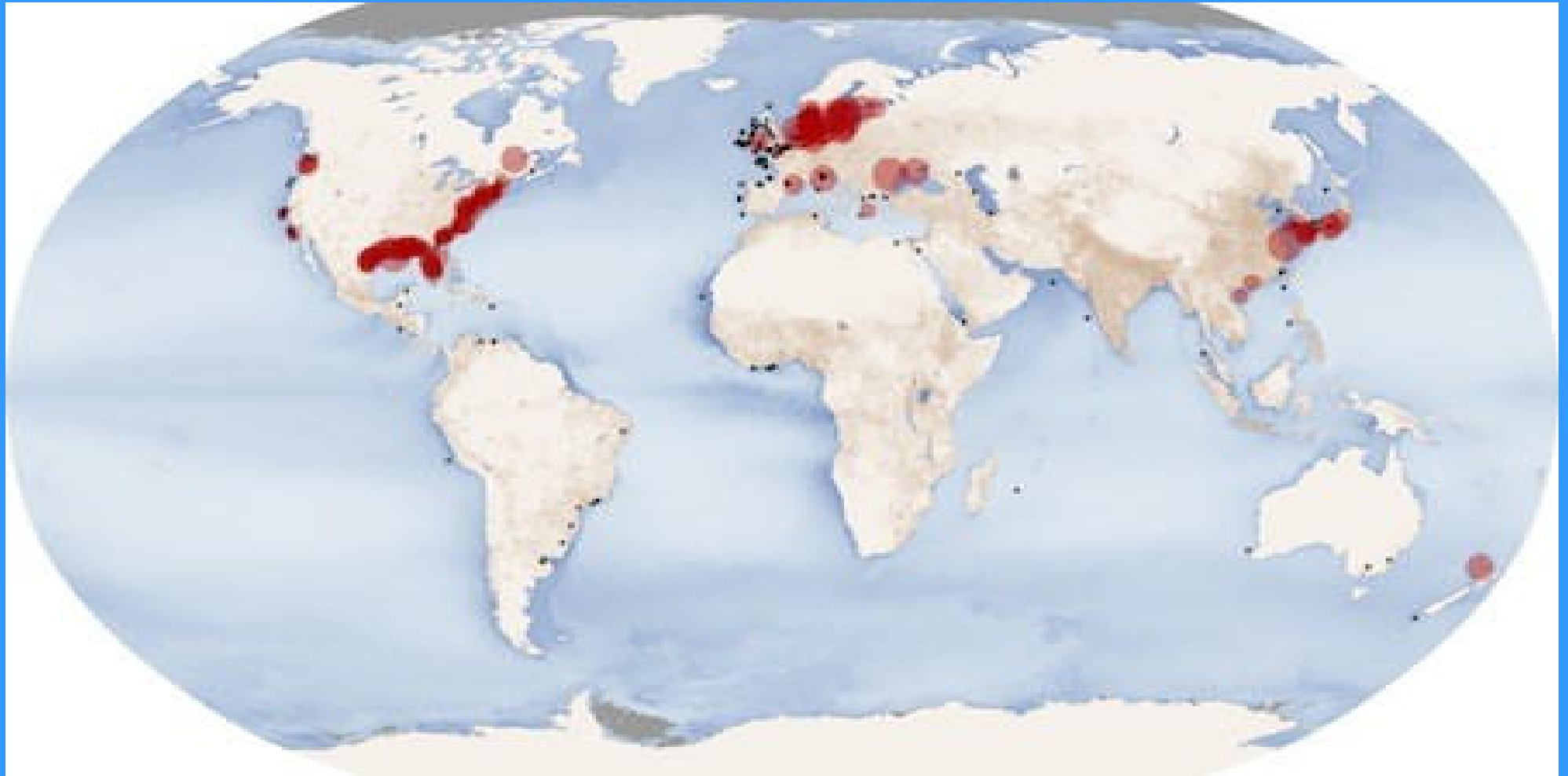


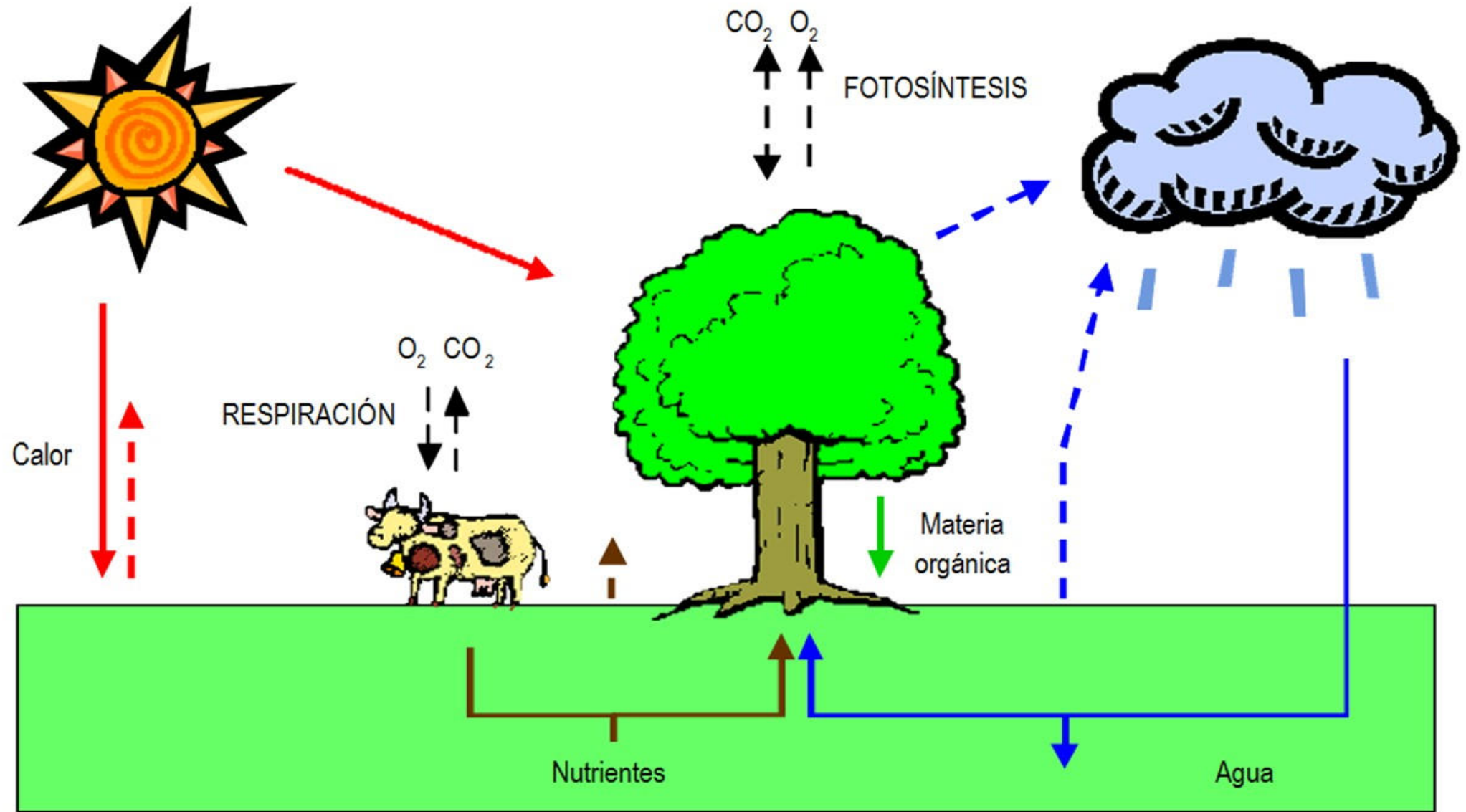
Tabla Periódica de los Elementos

● Metales

● Metales pesados

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Ku	Ha													

Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Hb	Er	Tm	Yb	Lu
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

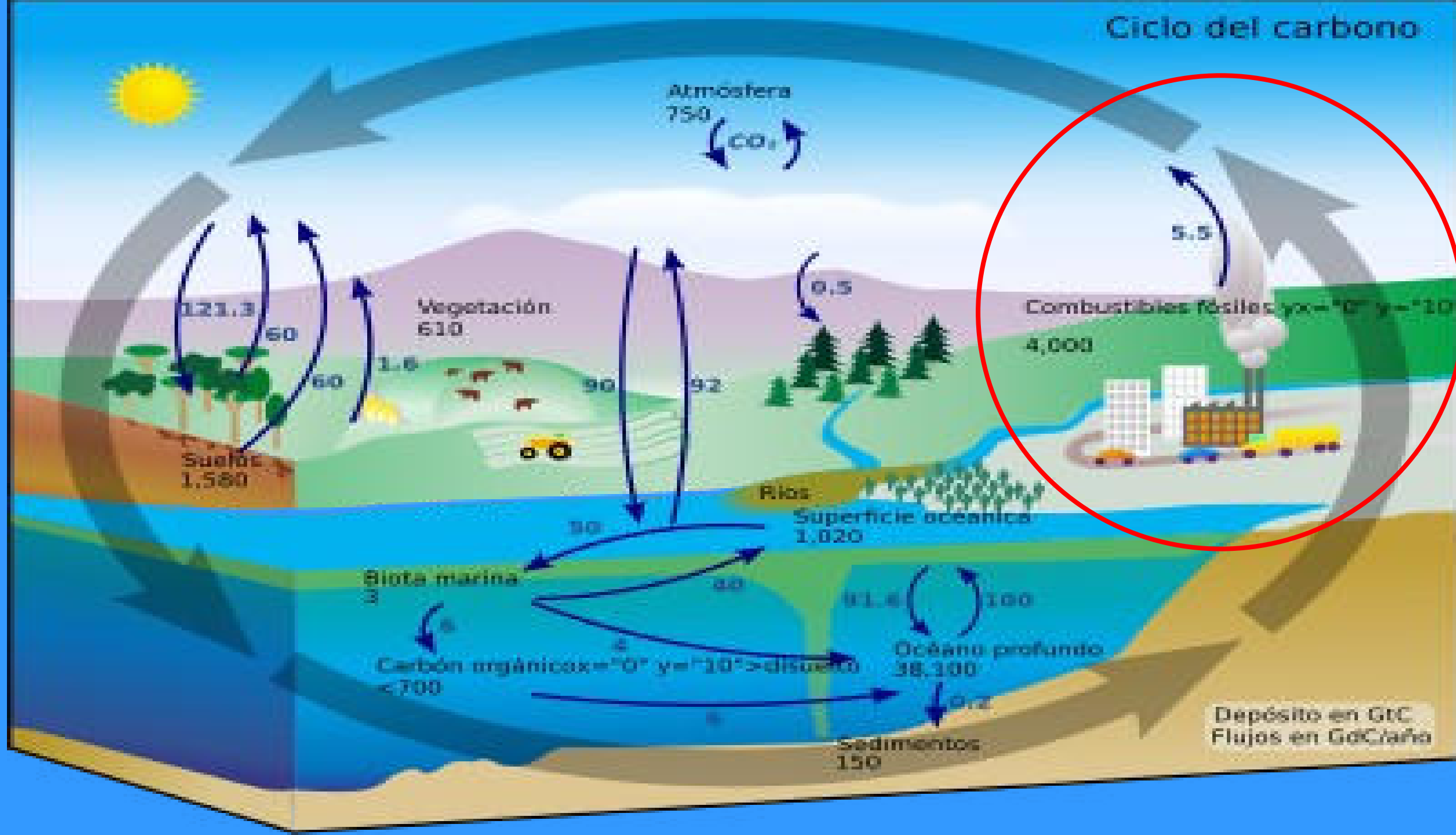








Ciclo del carbono

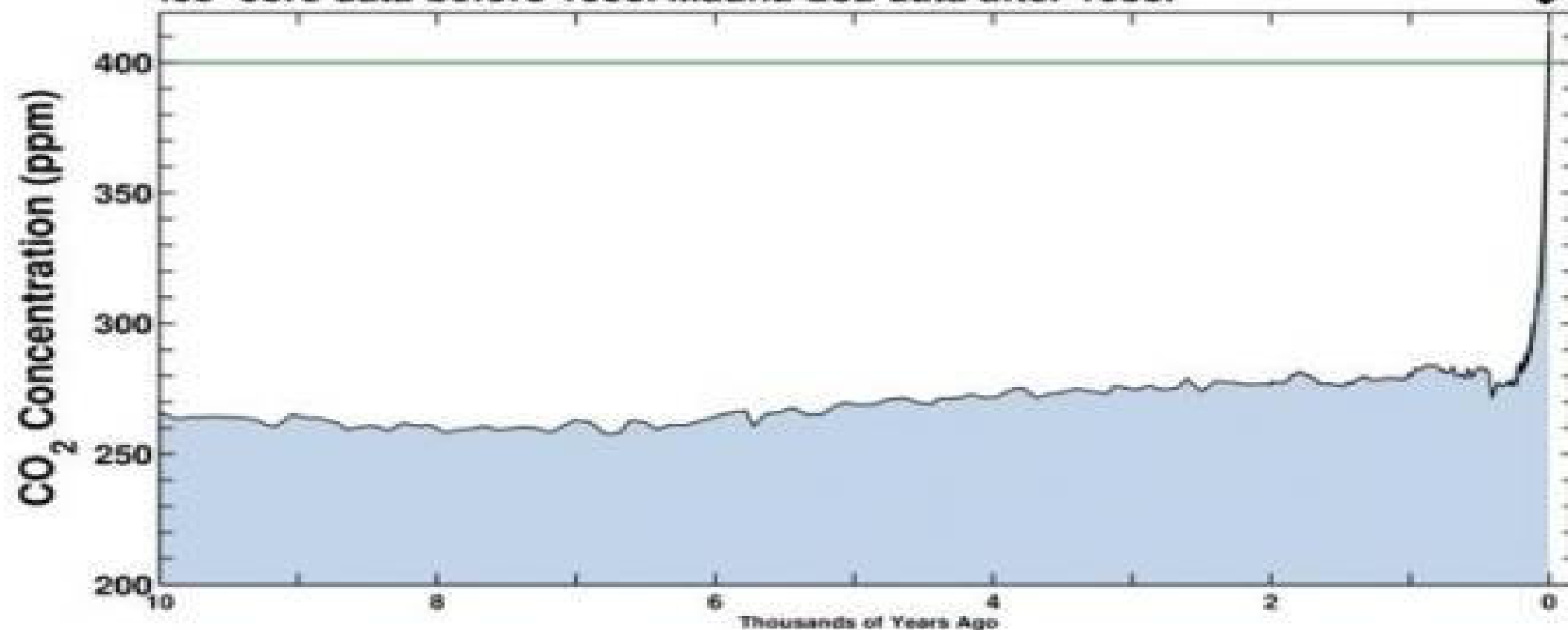


Latest CO₂ reading

May 12, 2019

415.39 ppm

Ice-core data before 1958. Mauna Loa data after 1958.

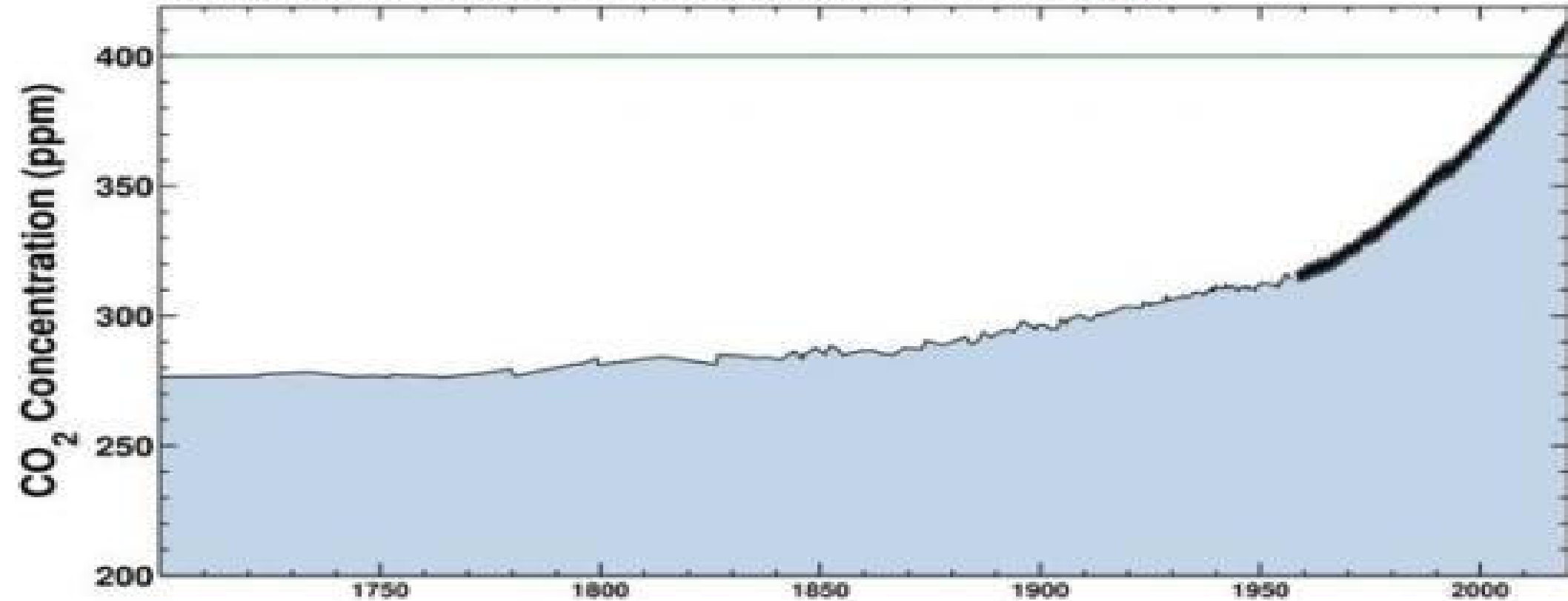


Latest CO₂ reading

May 12, 2019

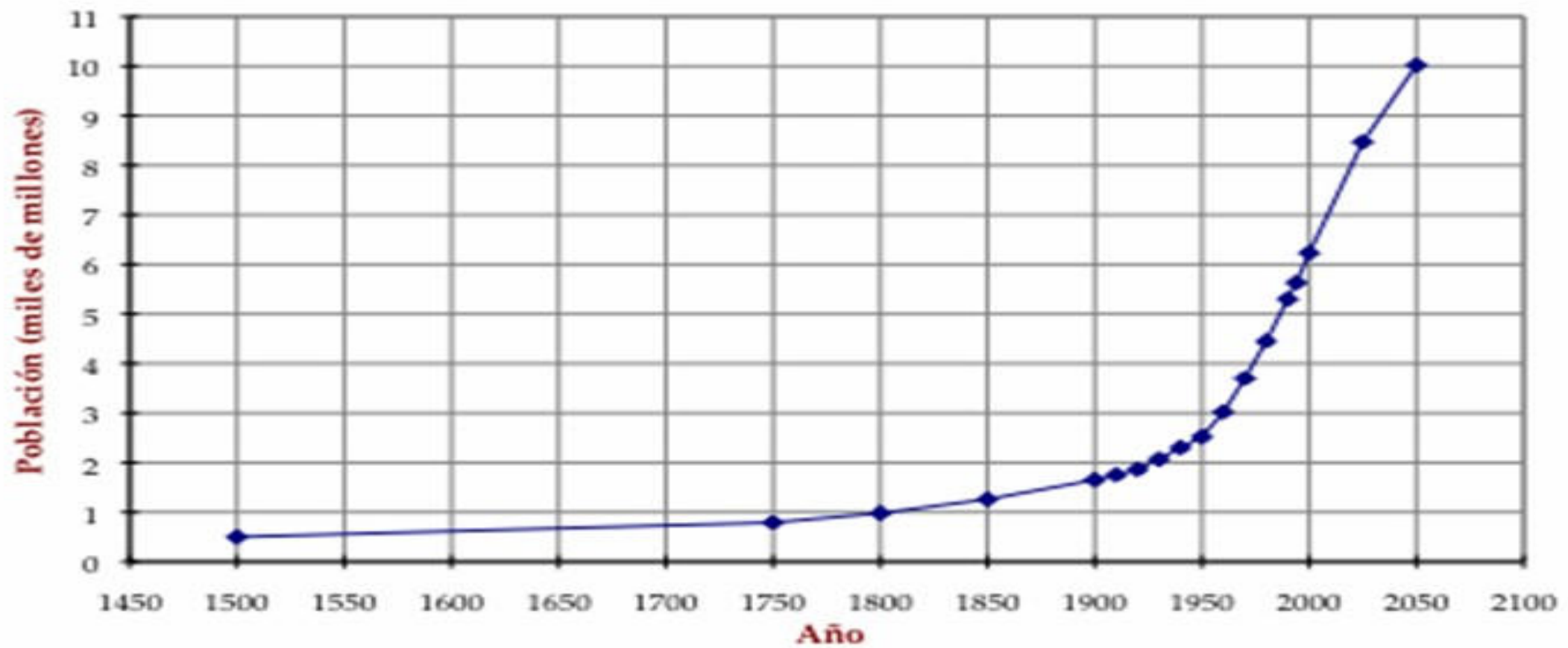
415.39 ppm

Ice-core data before 1958. Mauna Loa data after 1958.



[https://galenmckinley.github.io/
CarbonCycle_Spanish/images/
historical_carbon_budget_bar_chart_2024.m
p4](https://galenmckinley.github.io/CarbonCycle_Spanish/images/historical_carbon_budget_bar_chart_2024.mp4)

Evolución de la población mundial (1500-2050)



CICLO DE LA MATERIA ORGÁNICA. MINERALIZACIÓN

- **COEFICIENTE DE MINERALIZACIÓN.**
 - **m.o. mineralizada = $k \times$ contenido de m.o.**
 - **DEPENDE DE LA TEXTURA, CARBONATOS, HUMEDAD Y TEMPERATURA.**
 - **PARA LA ZONA MEDITERRANEA:**
 - » **SECANO** **0.8 a 1.5 %**
 - » **REGADÍO** **1.5 a 2.0 %**
 - » **INVERNADERO** **hasta 4 %**

EJEMPLO TRIGO SECANO

- SUELO CON UN 1.20 % DE MATERIA ORGÁNICA HASTA UNA PROFUNDIDAD DE 20 cm. (Análisis)
- SIN PIEDRAS.
- PRODUCCIÓN : 2.000 kg/ha.
- RESTOS DE PAJA RETIRADOS / INCORPORADOS.



EJEMPLO TRIGO SECANO

- BALANCE:

- Cantidad de materia orgánica presente

- $10000 \text{ m}^2 * 0.20 \text{ m} * 1300 \text{ kg/m}^3 = 2600000 \text{ kg suelo}$
 - $2600000 \text{ kg suelo} * 1.2 \% \text{ m.o.} = \mathbf{31200 \text{ kg m.o.}}$
 - $18096 \text{ kg de C} * 3,67 = \underline{66.412,32 \text{ kg CO}_2}$

- SALIDAS

- Mineralización:

- Coeficiente en secano (aprox.) $1.5 \% \text{ anual}$
 - $31200 \text{ kg m.o.} * 1.5 \% = \mathbf{468 \text{ kg}}$
 - » **que liberan 271 kg de carbono**
 - » **$* 3,67 = 996,19 \text{ kg CO}_2$**

EJEMPLO TRIGO SECANO

- BALANCE:

- ENTRADAS:

- Restitución al suelo de las raíces (y rastrojo).
 - Tabla (para un rendimiento medio)
 - » Aporte de 2000 kg de restos
 - Coeficiente Isohúmico:
 - Tabla (0.15)
 - m.o. generada = $2000 * 0.15 = 300 \text{ kg}$
 - Que fijaran aprox. 174 kg de C
 - » $*3,67 = 638,58 \text{ kg CO}_2$

EJEMPLO TRIGO SECANO

- BALANCE:

– SALIDAS 468 kg	996,19 kg CO ₂
– ENTRADAS 300 kg	638,58 kg CO ₂
– PERDIDA NETA 168 kg/ha.	357,61 kg CO₂

EJEMPLO TRIGO SECANO

- BALANCE:
 - ENTRADAS (si se deja la paja):
 - Restitución al suelo de las raíces (y rastrojo).
 - Tabla (para un rendimiento medio)
 - » Aporte de 2000 kg de restos raíces y tallos
 - » Aporte de 2000 kg de paja
 - Coeficiente Isohúmico:
 - Tabla (0.15)
 - m.o. generada = $4000 * 0.15 = 600 \text{ kg}$
 - Que fijaran aprox. 348 kg de C
 - » $*3,67 = 1.277,16 \text{ kg CO}_2$

EJEMPLO TRIGO SECANO

- BALANCE (con la paja):

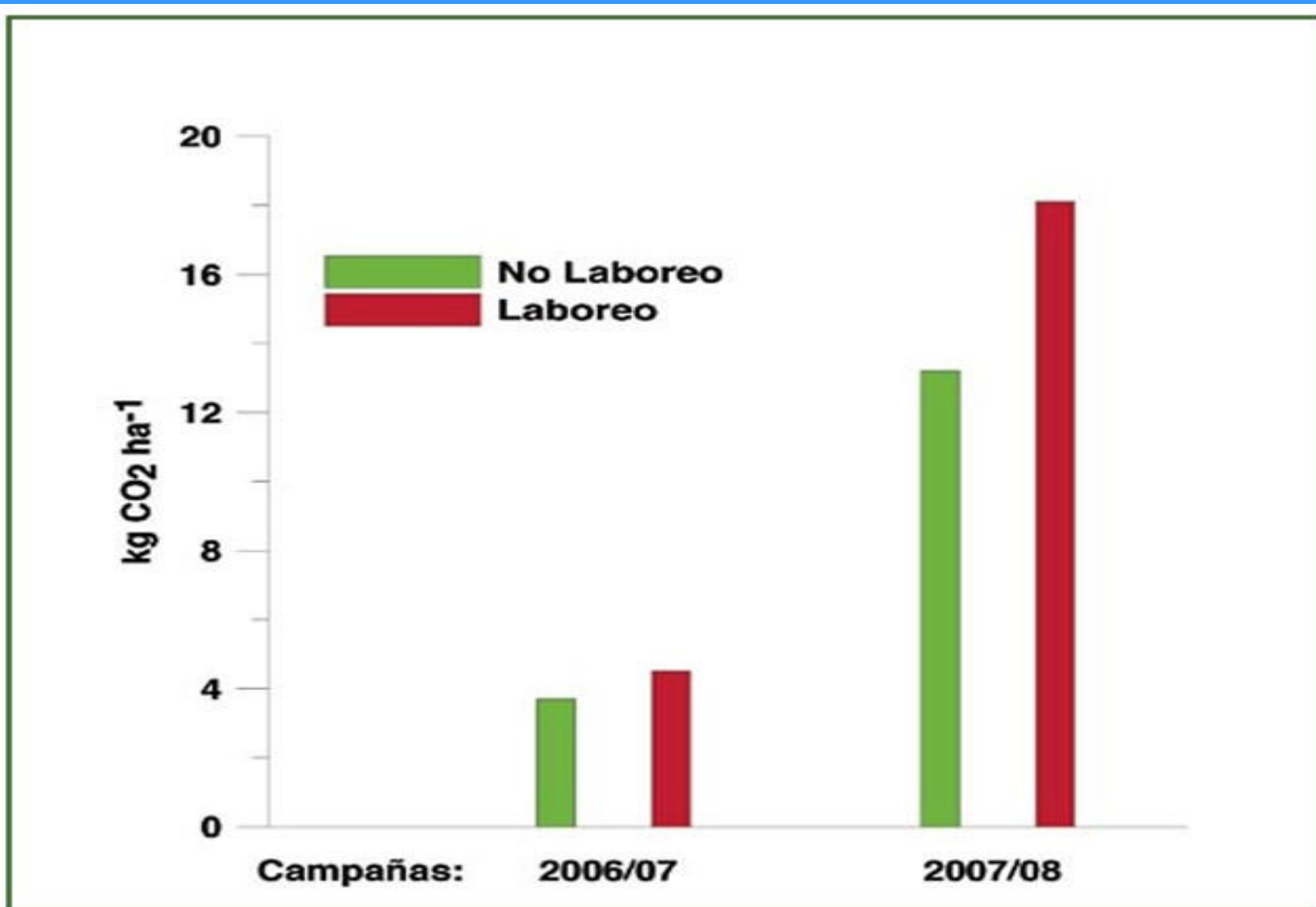
– SALIDAS 468 kg	996,19 kg CO ₂
– ENTRADAS 600 kg	1.277,16 kg CO ₂
– <u>GANACIA NETA</u> <u>132 kg/ha.</u>	<u>280,97 kg CO₂</u>

AGRICULTURA DEL CARBONO

- **CRÉDITOS DE CARBONO. SE “PAGA” POR LA FIJACIÓN NETA DE CARBONO.**
 - Condicionado a determinadas prácticas:
 - Gestión de restos de cosecha.
 - Cultivos de servicio.
 - Siembra directa / mínimo laboreo
 - Criterio
 - Compromiso de esas prácticas
 - Análisis de la materia orgánica del suelo (a veces).







R Ordóñez¹, R Carbonell¹, P González¹ y
O Veroz², 2008

Figura 4. Emisión total acumulada durante las seis horas posteriores a la siembra en ambos sistemas de cultivo para las campañas 2006/07 y 2007/08.





CONCLUSIÓN

- **El dióxido de carbono (CO₂) tiene un impacto significativo en la agricultura y la agricultura tiene un impacto significativo en el CO₂.**
 - ... tanto positivo como negativo.
 - Un aumento de CO₂ puede mejorar la fotosíntesis.
 - El cambio climático puede generar temperaturas extremas, sequías y eventos climáticos adversos que afectan negativamente la producción agrícola.

CONCLUSIÓN

- **La agricultura puede ser un gran fijador neto de carbono. Si se remuneran determinadas prácticas puede ser una fuente de ingresos.**
 - **Mercado voluntario 40 a 80 euros/crédito.**

VII JORNADA DE ASTRONOMÍA, METEOROLOGÍA Y AGRICULTURA



SÁBADO 10 DE MAYO DE 2025
ALBALATILLO





EJEMPLO TRIGO SECANO

- EN CASO DE QUE SE PRACTIQUE BARBECHO, EL AÑO DE BARBECHO:
 - SALIDAS
 - Mineralización:
 - $31200 \text{ kg m.o.} * 1.5 \% = \mathbf{468 \text{ kg}}$
 - » **que liberan 23 kg de nitrógeno (y 271 kg de carbono), y otros nutrientes.**
 - ENTRADAS
 - No hay aportes
 - BALANCE
 - PERDIDA DE 468 KG DE m.o.
 - LIBERACIÓN DE 23 kg DE NITRÓGENO.

EJEMPLO TRIGO SECANO

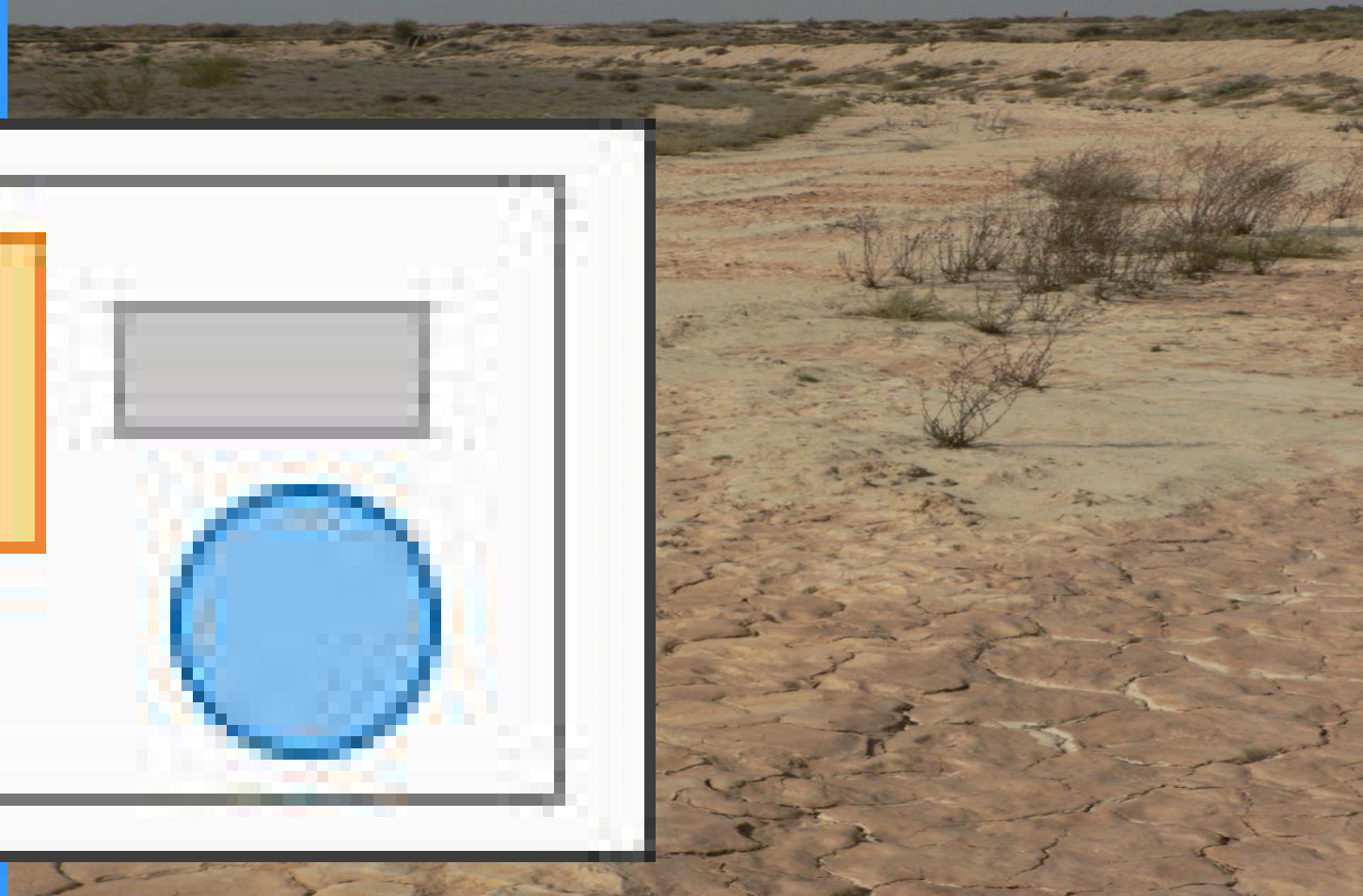
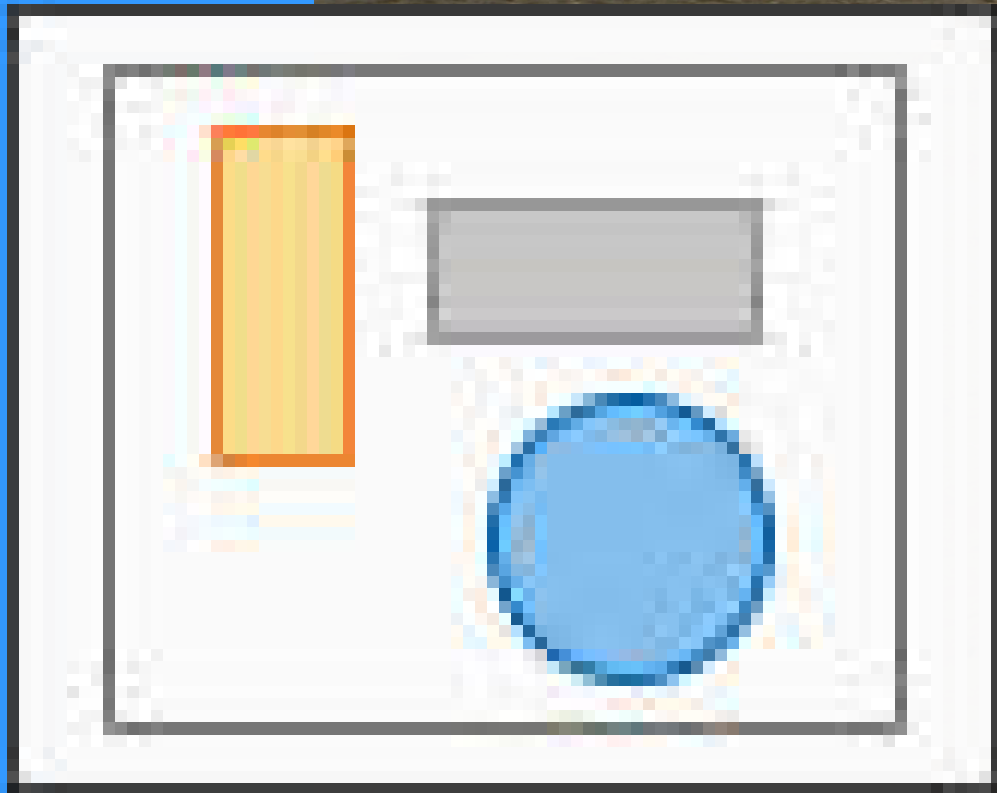
- EN CASO DE QUE SE PRACTIQUE BARBECHO, ROTACIÓN COMPLETA (2 años):
- BALANCE:
 - SALIDAS 936 kg
 - ENTRADAS 300 kg
 - **PERDIDA NETA 636 kg / ha.**
- BALANCE NITRÓGENO
 - APORTE 46 kg/ha.
 - FIJACIÓN 15 kg/ha
 - **LIBERACIÓN NETA 31 kg/ha**



PROPIEDADES

- **MEZCLA DE SUSTANCIAS ORGÁNICAS.**
- **COMPOSICIÓN MEDIA:**
 - **CARBONO (C) 58 %**
 - **NITRÓGENO (N) 5 %**
 - **Azufre, fósforo,, microelementos.**
 - **Relación C/N aprox. 10**

MEJORA PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO.



DISTRIBUCIÓN.





27.02.2004

DIAGNOSTICO.

NORMAS DE DIAGNÓSTICO DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO EN FUNCIÓN DE LA TEXTURA Y EL PH

PH	GRUPO TEXTURAL	DIAGNÓSTICO				
		Muy pobre	Pobre	Correcto	Rico	Excesivo
< 5,8 (1)	Cualquiera	<0,2 (2)	2,0-2,5	2,5-3,0	3,0-3,5	>3,5
5,8-8,3	Arenoso	<0,8	0,8-1,2	1,2-1,5	1,5-2,0	>2,0
	Medio	<1,2	1,2-1,8	1,8-2,3	2,3-3,0	>3,0
	Arcilloso	<2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	3,0-3,5	>3,5
> 8,3	Cualquiera	Pueden hallarse valores anormalmente altos de materia orgánica debido a la ralentización de la biomasa edáfica.				

(1) Suelos con una reducida actividad microbiana debido al bajo pH.

(2) Valores expresados como porcentaje.

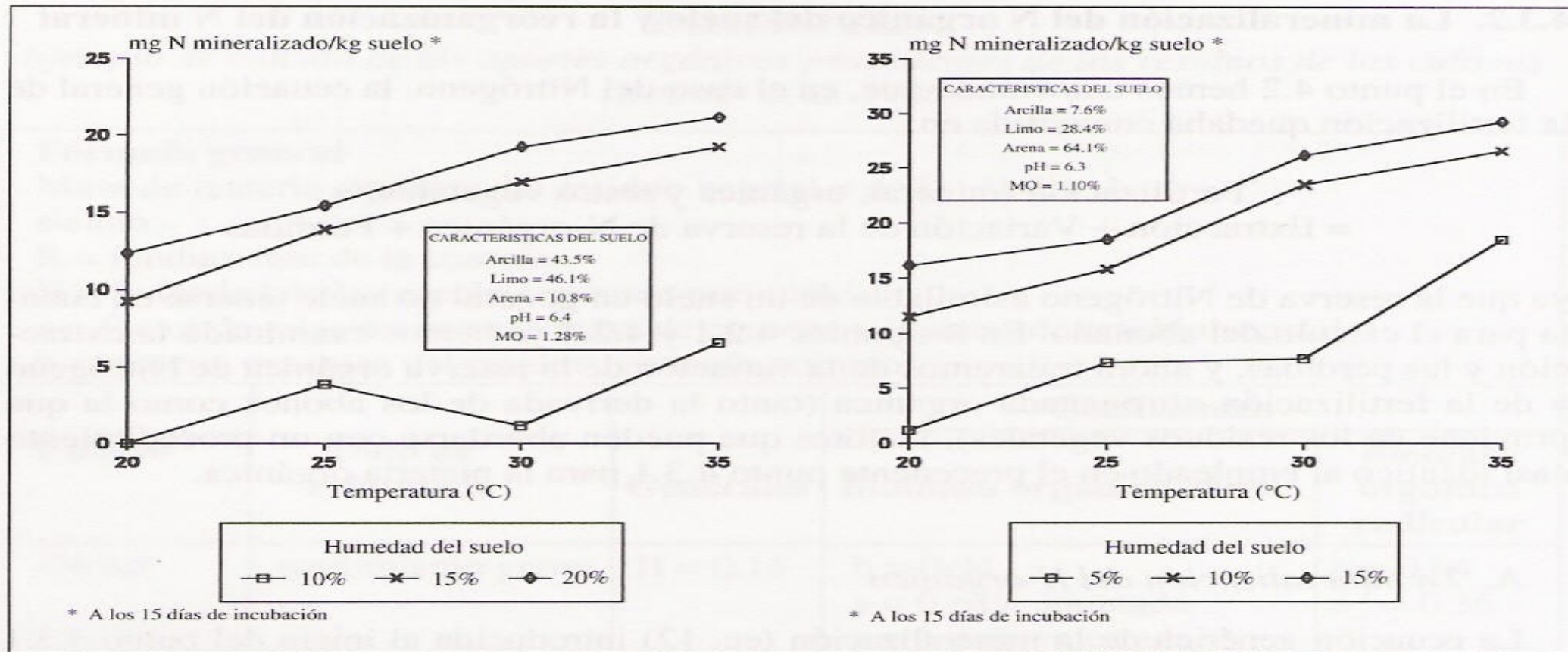
Fuente: Spring y cols. (1993).

**COMPOSICIÓN MEDIA Y RELACIÓN C/N DE ALGUNOS MATERIALES
ORGÁNICOS COMPOSTABLES**

MATERIAL	HUMEDAD	NITRÓGENO	RELACIÓN C/N
Residuos de frutas	80	1,4	40
Huesos de aceitunas	8-10	1,2-1,5	30-35
Cáscara de arroz	14	0,3	121
Residuos vegetales	—	2,5-4	11-13
Residuo matadero	10-78	13-14	3-3,5
Residuos de pescado	76	10,6	3,6
Esqueletos de pollo	65	2,4	5
Estiércol de gallina	37	2,7	14
Estiércol de vaca	81	2,4	19
Estabulada	79	2,7	18
Semiestabulada	83	2,7	13
Estiércol ovino	69	2,7	2,7
Purines	80	3,1	3,1
Basura (residuos alimentación)	69	1,9-2,9	14-16
Papel de uso doméstico	18-20	0,2-0,25	127-178
Lodos de depuradora de aguas residuales urbanas activos	72-84	5,6	6
Lodos digeridos	—	1,9	16
Maíz de ensilado	65-68	1,2-1,4	38-43
Heno (general)	8-10	2,1	15-32
Heno de leguminosa	—	2,5	16
Heno de no leguminosas	—	1,3	32
Paja general	12	0,7	80
Paja cebada	—	0,9	60
Paja trigo	—	0,4	127
Corteza maderas duras	—	0,241	223
Corteza maderas blandas	—	0,14	496
Residuos de papel de periódico	3-8	0,06-0,14	398-852
Lodos industria papelera	81	0,56	54
Pulpa de papel	82	0,59	90
Serrín	39	0,24	442
Residuos maderas blandas	—	0,09	560
Residuos maderas duras	—	0,09	641
Restos vegetales de jardinería urbana	82	3,4	17
Hojas	38	0,9	54
Poda de árboles	70	3,1	16

Fuente: Adaptado de Rynk y cols. (1992).

EFECTO HUMEDAD Y TEMPERATURA SOBRE EL RITMO DE MINERALIZACIÓN (Chiang et al. 1983).



NITROGENO MINERALIZADO EN DIFERENTES CONDICIONES.

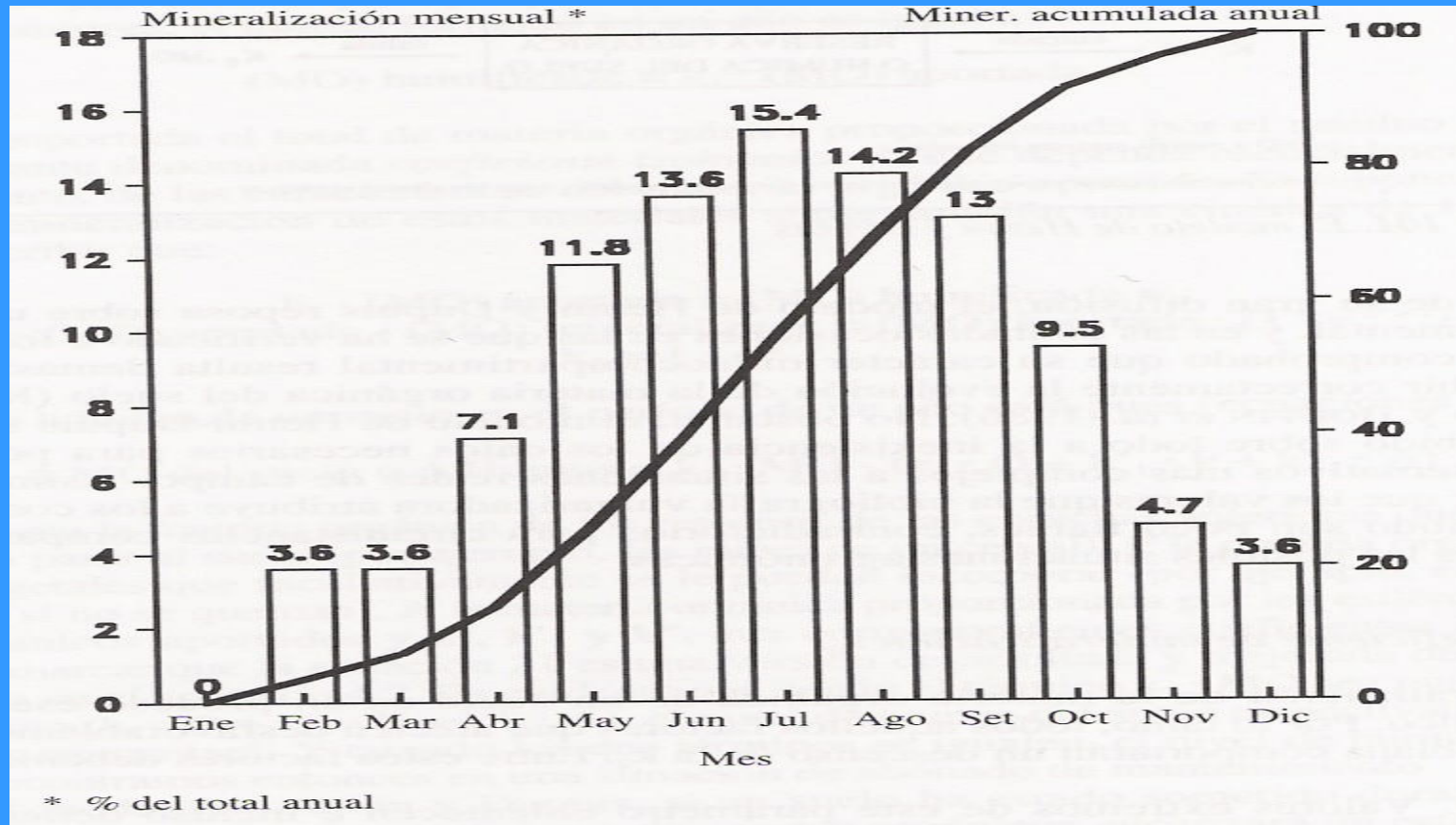
N-inorgánico generado por mineralización del humus (estimación para un cultivo de maíz en Francia) (SOLTNER-1988)

Tipo de suelo	pH	Nivel de materia orgánica					
		1.5 %	2.0 %	2.5 %		3.0 % o más	
				arcilla < 25 %	arcilla > 25 %	arcilla < 25 %	arcilla > 2 %
Suelo no calcáreo (o poco)	< 5	30 ^{1,2}	40	55	50	60	50
	5 - 6	45	60	75	60	90	70
	> 6	60	80	100	80	120	90
Suelo calcáreo con más del 20% de CaCO ₃		50					
Suelo poco profundo		30					

¹ Suponiendo que el suelo presenta la usual relación C/N de 10, a través del nivel de materia orgánica conoceremos el contenido aproximado de N-orgánico.

² Resultados expresados en kg de N mineralizado por ha y ciclo de cultivo.

EVOLUCIÓN DE LA MINERALIZACIÓN (Kolenbrander 1981).



COEFICIENTE ISOHÚMICO

Especie	Autor			
	A	B	C	D
Trigo/Cebada/Avena				
• raíces	0.15	0.08	0.15	—
• partes aéreas	0.15	0.08	0.08	0.14
Maíz				
• raíces	0.15	0.06	0.15	—
• partes aéreas	0.12	0.06	0.12 ⁴	0.20
Remolacha		0.04 ³		
• raíces	0.15	—	0.15	
• partes aéreas	0.08	—	0.08	
Patata				
• raíces	0.15	—	0.15	
• partes aéreas	0	—	0	
Colza				
• raíces	0.15	0.10	0.15	—
• partes aéreas	0.15	0.10	0.12	—
Restos de prados	—	0.15	—	—
Guisante/Judía/Haba				
• raíces	0.15	—	0.15	—
• partes aéreas	0.08	—	0.08	—
Lino				
• raíces	0.15	—	—	—
• partes aéreas	0.20	—	—	—
Abono en verde		0.01 ³		
• raíces	0.15		0.15	—
• partes aéreas	0.05-0.08 ²		0	—
Alfalfa		0.15 ³		
• raíces	0.20		0.15	—
• partes aéreas	0.12		0.12	—

¹ Las k_1 de este cuadro tienen el significado clásico, es decir, se refieren a la fracción de materia seca que se humifica.

² Según el abono en verde sea respectivamente poco o muy lignificado.

³ No especifica la parte del vegetal a la que se refiere, aunque presumiblemente se trata de la aérea.

⁴ 0.10 para la base de los tallos no recolectados en el maíz para ensilar.

BIBLIOGRAFÍA:

A: SOLTNER-1990, para suelos no calcáreos.

B: MULLER-1982, para todo tipo de suelos.

C: BOIFFIN *et al.*-1986

D: DELAS y MOLOT-1983.

COEFICIENTE ISOHÚMICO (Abonos orgánicos).

Coeficientes isohúmicos k_1 ¹ de diferentes abonos orgánicos

Abono orgánico	Autor				
	A	B	C	D	E
Estiércol bien maduro	0.50	0.3-0.5	0.30	0.32	—
Estiércol semi-maduro	0.40	—			—
Estiércol fresco con paja abundante	0.25	0.2-0.4			—
Cómpost de basuras	0.25	—	—	—	—
Cómpost de champiñones	—	—	0.30	—	—
Fango de depuradora urbana	0.20	—	0.20	—	0.15-0.25
Turba	1.00	—	—	—	—
Sarmientos/orujo	—	—	—	0.37	—
Restos forestales	—	—	—	0.31	—

¹ Las k_1 de este cuadro tienen el significado clásico, es decir, se refieren a la fracción de materia seca que se humifica.

BIBLIOGRAFÍA:

A: SOLTNER-1990

B: MULLER-1982

C: BOIFFIN *et al.*-1986

D: DELAS y MOLOT-1983

E: CHALIN-1990.

COEFICIENTE ISOHÚMICO (Abonos orgánicos).

Coeficientes isohúmicos k_1 ¹ de diferentes abonos orgánicos estimados mediante métodos químicos

A - Estiércoles ² (SERRA-1988)		B - Cómpost de basuras de Cataluña ³	
Tipo de estiércol	k_1	Planta de compostaje	k_1
Gallinaza	0.29	Vilafranca del Penedés	0.26
Oveja	0.35	Gavá	0.32
Ternero	0.32	Mataró	0.28
Vaca	0.35		
Conejo	0.30		
C - Fangos de depuradora de aguas residuales de Cataluña (ROMERO DEL CASTILLO <i>et al.</i> -1989)			
E.D.A.R.	k_1	E.D.A.R.	k_1
Begur	0.26	Girona	0.55
Blanes	0.28	Igualada	0.41
Cadaqués	0.25	Llançá	0.45
Castelldefels	0.47	Manresa	0.46
Colera	0.32	Olot	0.35
L'Estartit	0.35	Port-Bou	0.34
Figueres	0.35	Palamós-Palafrugell	0.32
		Port de la Selva	0.45
		Reus	0.47
		Roses	0.33
		Sant Feliu de Guíxols	0.26
		Tossa	0.38
		Vilafranca	0.41

¹ Las k_1 de este cuadro expresan la fracción de materia orgánica del abono que se humifica.

² Muestras recolectadas en Cataluña.

³ Media de las muestras analizadas durante el año 1990 por la Escuela Superior de Agricultura de Barcelona.

COEFICIENTE ISOHÚMICO (Abonos orgánicos según madurez).

Coefficientes isohúmicos k_1 ¹ de abonos orgánicos con diferente madurez, estimados mediante métodos químicos

Cómpost (SAÑA <i>et al.</i> -1989)			Estiércoles (SERRA-1988)		
	Frescos	Maduros		Frescos	Maduros
k_1	0.25 ²	0.40 ³	k_1	0.27 ⁴	0.43 ⁵
S	0.05	0.06	S	0.03	0.06

¹ Las k_1 de este cuadro expresan la fracción de materia orgánica del abono que se humifica.

² Media de 29 muestras de cómposts de origen diverso.

³ Media de 36 muestras de cómposts de origen diverso.

⁴ Media de 16 muestras de estiércoles de origen diverso.

⁵ Media de 32 muestras de estiércoles de origen diverso.

APORTES ORGÁNICOS.

Ejemplo de cálculo de los aportes orgánicos procedentes de los residuos de los cultivos (BOIFFIN et al.-1986)

Fórmula general

Masa de materia orgánica del residuo vegetal = $a \cdot R \cdot (1-H) \cdot b$

siendo:

R = rendimiento de la cosecha.

H = humedad de la cosecha (en tanto por uno)

a = factor de relación entre la masa de cosecha y la masa de residuo vegetal

b = materia orgánica del residuo (en tanto por uno)

Cultivo	Dato de referencia	Generales	Coeficientes	
			Biomasa orgánica aérea	Biomasa orgánica radicular
Cereal	rendimiento grano	H = 0.16	b = 0.94 a = 0 paja quemada a = 1 paja enterrada a = 0.3 rastrojo enterrado	b = 0.84 a ¹ = 0.36
Maíz grano (híbrido)	rendimiento grano	H=0.16	b = 0.92 a = 0 caña quemada a = 0.9 caña enterrada	b = 0.84 a = 0.30
Maíz para ensilado	producción de masa verde	H=0.65	b = 0.92 a ² = 0.06	b = 0.84 a = 0.17

¹ Este coeficiente sólo tienen en cuenta la masa radicular que quedará en la capa de suelo superficial.

² Corresponde a la base de los tallos.

APORTES ORGÁNICOS.

Estimación aproximada de los residuos de las cosechas (SOLTNER-1990)

Cultivo	Restituciones obligatorias (raíces)			Restituciones facultativas (partes aéreas)		
	Rendimiento del cultivo			Rendimiento del cultivo		
	medio	bueno	muy bueno	medio	bueno	muy bueno
Remolacha azucarera	0.8 ¹	1.0	1.2	4.0	5.0	6.0
Patata	0.8	1.0	1.2	—	—	—
Maíz (grano)	2.0	3.0	4.0	4.0	6.0	7.0
Colza (grano)	2.0	2.5	3.0	5.0	6.0	7.0
Alfalfa (por año)	2.0	3.0	4.0	1.0	2.0	3.0
Guisante (para conserva)	1.5	2.0	2.5	2.5	3.5	4.0
Lino (grano)	1.2	1.6	2.0	1.5	2.0	2.5
Lino (para fibra)	0.6	0.8	1.0	—	—	—
Trigo	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0
Cebada	1.0	1.5	2.0	2.5	3.5	4.0
Avena	2.0	2.5	3.0	3.0	4.0	4.5
Abono en verde poco lignificado	0.8	1.0	1.2	3.0	4.0	5.0
Abono en verde lignificado	1.0	1.5	1.8	4.0	5.0	6.0

¹ Resultados expresados en toneladas de materia seca por ha.





EJEMPLO TRIGO REGADÍO.

- SUELO CON UN 2,00 % DE MATERIA ORGÁNICA HASTA UNA PROFUNDIDAD DE 30 cm. (Análisis)
- SIN PIEDRAS.
- PRODUCCIÓN : 5.000 kg/ha.
- LOS RESTOS DE PAJA SON PICADOS Y ENTERRADOS.



SAMPLE

SAMPER

104

29/11/05

EJEMPLO TRIGO REGADIO.

- BALANCE:

- Cantidad de materia orgánica presente

- $10000 \text{ m}^2 * 0.30 \text{ m} * 1300 \text{ kg/m}^3 = 3900000 \text{ kg suelo}$
 - $3900000 \text{ kg suelo} * 2.0 \% \text{ m.o.} = \mathbf{78000 \text{ kg m.o.}}$

- SALIDAS

- Mineralización:

- Coeficiente en regadío (invierno) (aprox.) 1.5 % anual

- $78000 \text{ kg m.o.} * 1.5 \% = \mathbf{1170 \text{ kg}}$

- » que liberan **59 kg de nitrógeno** (y **679 kg de carbono**).

EJEMPLO TRIGO REGADIO

- **BALANCE:**
 - **ENTRADAS:**
 - Restitución al suelo de las raíces y paja.
 - Tabla (para un rendimiento bueno)
 - » Aporte de 2500 kg de raíces
 - » Y de 5000 kg de paja
 - » Que contienen aprox **0.4 % de Nitrógeno (30 kg)**
 - Coeficiente Isohúmico:
 - Tabla (0.15)
 - m.o. generada = $7500 * 0.15 = 1125$ kg
 - Que fijaran aprox. **56 kg de nitrógeno.**

EJEMPLO TRIGO REGADIO

- BALANCE:
 - SALIDAS 1170 kg
 - ENTRADAS 1125 kg
 - **PERDIDA NETA 45 kg / ha.**
- BALANCE NITRÓGENO
 - APORTE 30 kg/ha.
 - FIJACIÓN 56 kg/ha
 - **FIJACIÓN NETA 26 kg/ha**

EJEMPLO TRIGO REGADIO

- EN CASO DE QUE SE PRACTIQUE ADICIÓN DE PURIN DE CERDOS DE CEBO:
 - DOSIS 20 m³/ha
 - INCORPORADO CON LA PAJA.
- LA GENERACIÓN DE HUMUS ADICIONAL ES PRACTICAMENTE DESPRECIABLE, PERO MEJORA SUSTANCIALMENTE LA RELACIÓN C/N.

ESTIERCOLES SOLIDOS ("FIEMOS")																
Especie / tipo animal	Tipo edific.	MS	MO	Rel.	Elementos principales (kg/t)								Oligoelementos (g/t)			
		%	%	C/N	pH	Ntot.	NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O	Cu	Mn	Zn	Fe
Bovinos. Vacas	Estab. libre	25	18	14,0	7,8	5,5	0,5	3,5	8,0	5,0	1,9	0,5	8	150	-	-
	Estab. fija	21	-	-	-	4,7	-	3,1	4,4	-	-	-	-	-	-	-
Vacuno carne		24	15	-	7,3	3,9	-	3,7	4,0	2,5	1,5	0,7	-	-	16	2074
Terneros		19	13	-	7,8	2,4	-	1,0	2,7	1,8	0,5	0,7	-	-	-	-
Ovinos		30	23	23,0	8,1	6,7	-	4,2	11,2	11,2	1,4	1,8	-	-	-	-
Cerdos		21	16	-	-	6,0	-	6,0	4,0	6,0	2,5	1,0	-	-	-	-
Caprinos		48	-	-	-	6,1	-	5,2	5,7	-	-	-	-	-	-	-
Caballos		54	41	-	-	8,2	2,1	3,2	9,0	-	2,0	-	-	-	-	-
Aves	Pollos	58	48	11,0	6,8	25,5	-	21,5	21,0	14,5	3,7	-	81	-	147	-
	Pavos	54	43	10,5	6,9	24,0	-	25,0	20,5	21,5	4,2	-	78	-	166	-
ESTIERCOLES FLUIDOS O LÍQUIDOS																
Especie / tipo animal	Tipo edific.	MS	MO	Rel.	Elementos principales (kg/t)								Oligoelementos (g/t)			
		%	%	C/N	pH	Ntot.	NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O	Cu	Mn	Zn	Fe
Bovinos Vacas	Todo est. fluido	12,0	5,5	8,0	7,1	5,0	2,5	2,5	6,0	2,4	0,7	1,1	2	16	11	68
	Area escurr.	18,5	12,8	-	6,8	6,0	1,5	2,8	4,2	2,4	1,0	0,9	3	28	13	788
Vacuno carne		15,0	10,7	-	7,2	5,2	3,1	3,1	5,0	4,5	1,5	1,6	12	38	56	309
Terneros		1,9	1,0	-	7,4	2,7	2,1	2,1	3,8	0,3	0,3	1,5	1	8	14	19
Cerdos Cebo	Alim. harina	8,0	7,0	8,0	7,6	5,5	3,5	6,0	3,0	3,5	0,8	1,5	25	58	60	262
	Alim. suero	6,0	4,0	-	6,8	4,5	2,6	4,0	2,3	5,9	2,8	0,5	6	27	64	78
Cerdas Gest. Lechones		10,0	6,9	-	7,4	5,5	3,6	6,5	2,4	6,7	1,5	3,5	18	45	92	228
		8,8	6,6	-	7,2	6,3	3,5	5,6	2,0	4,8	1,8	0,5	65	58	144	276
Aves	Gall. poned.	25,8	18,2	-	7,1	10,5	7,4	10,4	7,2	40,5	3,0	1,4	26	119	94	400
	Pollos carne	33,0	23,9	-	-	16,0	-	12,0	8,7	8,8	1,2	2,0	22	-	107	69
	Pavas	44,0	36,2	-	-	32,6	7,0	21,2	7,7	23,5	3,7	2,7	35	-	227	522
	Patos	39,0	-	-	-	11,0	-	14,0	5,0	-	-	-	-	-	-	-
Conejos		26,0	18,2	-	8,5	8,5	1,9	13,5	7,5	13,9	3,5	2,2	17	84	123	520

EJEMPLO TRIGO REGADIO

- BALANCE CON PURIN:

- ENTRADAS:

- m.o. adicional:

- $20000 \text{ kg purín} * 7.0 \% \text{ m.o.} = 1400 \text{ kg m.o.}$

- El coeficiente isohúmico es despreciable (salvo que contenga restos vegetales).

- Nitrógeno aportado:

- $20000 \text{ kg purín} * 5.5 \text{ kg N} / \text{tm purín} = 110 \text{ kg N}$

- BALANCE NITRÓGENO

- » APORTE $30 + 110 \text{ kg/ha.}$

- » FIJACIÓN 56 kg/ha

- » **Liberación NETA** **84 kg/ha**

EJEMPLO TRIGO REGADIO

- BALANCE CON PURIN:
 - Mejora importante de la relación C/N:
 - Total m.o. adicionada:
 - Restos de trigo 7500 kg m.o. (C/N = 127)
 - Purín 1400 kg m.o. (C/N = 8)
 - Mezcla resultante
 - » 8900 kg m.o. (factor 1.72) 5174 kg Corg.
 - » 140 kg N
 - » C/N = 37
 - Considerando la mezcla como un estiercol fresco:
 - Coeficiente isohúmico 0.20
 - ENTRADAS:
 - » $8900 \text{ kg m.o.} * 0.20 = \mathbf{1780 \text{ kg}}$
 - SALIDAS
 - » 1170 kg mineralizados.
 - BALANCE POSITIVO
 - » $1780 - 1170 = \underline{\underline{610 \text{ kg de humus generado}}}$

EJEMPLO ROTACIÓN REGADÍO.

- SUELO CON UN 2,30 % DE MATERIA ORGÁNICA HASTA UNA PROFUNDIDAD DE 30 cm. (Análisis). CON UN 20 % DE PIEDRAS.
- ROTACIÓN ALFALFA (4 años) – MAIZ (2 años).
- PRODUCCIÓN:
 - Alfalfa: 15.000 kg/ha ms.
 - Maiz: 12.000 kg/ha.
- LOS RESTOS DE PAJA SON PICADOS Y ENTERRADOS.
- SE APORTAN 2000 kg/ha DE ESTIERCOL DE OVINO EN EL 2º AÑO DE MAIZ.



EJEMPLO ROTACIÓN REGADÍO

- **BALANCE:**

- Cantidad de materia orgánica presente

- $10000 \text{ m}^2 * 0.30 \text{ m} - ((10000 * 0.3) * 0.20) * 1300 \text{ kg/m}^3 = 3120000 \text{ kg suelo}$
 - $3120000 \text{ kg suelo} * 2.3 \% \text{ m.o.} = \mathbf{71760 \text{ kg m.o.}}$

- **SALIDAS**

- Mineralización:

- Coeficiente en regadío (verano) (aprox.) 2.0 % anual
 - $71760 \text{ kg m.o.} * 2.0 \% = \mathbf{1435 \text{ kg}}$
 - » **que liberan 72 kg de nitrógeno (y 832 kg de carbono).**
 - Puede considerarse que las salidas son aproximadamente las mismas cada año de rotación.

EJEMPLO ROTACIÓN REGADÍO

- **BALANCE:**
 - **ENTRADAS** (alfalfa, 3 primeros años):
 - Restitución al suelo por raíces.
 - Tabla (para un rendimiento muy bueno)
 - » Aporte de 4000 kg de raíces
 - » Que contienen aprox **2.1 % de Nitrógeno (84 kg)**
 - Coeficiente Isohúmico:
 - Tabla (0.20 para raíz)
 - m.o. generada = $(4000 * 0.20) = \mathbf{800\ kg}$
 - **Que fijaran aprox. 40 kg de nitrógeno.**

EJEMPLO ROTACIÓN REGADÍO

- **BALANCE:**

- **ENTRADAS (alfalfa último año):**

- **Restitución al suelo por raíces y restos aéreos.**

- **Tabla (para un rendimiento muy bueno)**

- » **Aporte de 4000 kg de raíces.**

- » **Aporte de 3000 kg de parte aérea.**

- » **Que contienen aprox 2.1 % de Nitrógeno (147 kg)**

- **Coeficiente Isohúmico:**

- **Tabla (0.20 para raíz y 0.12 para parte aérea)**

- **m.o. generada = $(4000 * 0.20) + (3000 * 0.12) = 1160 \text{ kg}$**

- **Que fijaran aprox. 58 kg de nitrógeno.**

EJEMPLO ROTACIÓN REGADÍO

- **BALANCE:**

- **ENTRADAS (maíz):**

- **Restitución al suelo de las raíces y paja.**

- Tabla (para un rendimiento bueno)

- » Aporte de 3000 kg de raíces

- » Y de 6000 kg de paja

- » Que contienen aprox **0.7 % de Nitrógeno (63 kg)**

- **Coeficiente Isohúmico:**

- Tabla (0.15 para raíz y 0.12 para parte aérea)

- **m.o. generada = $(3000 * 0.15) + (6000 * 0.12) = 1170 \text{ kg}$**

- **Que fijaran aprox. 59 kg de nitrógeno.**

EJEMPLO ROTACIÓN REGADÍO

- BALANCE:
 - ENTRADAS (estiércol):
 - Aporte por estiércol.
 - » Aporte de 2000 kg de ovino
 - » Que contienen aprox **6.7 % de Nitrógeno (134 kg)**
 - Coeficiente Isohúmico:
 - Tabla (0.35)
 - m.o. generada = $2000 * 0.35 = 700 \text{ kg}$
 - Que fijaran aprox. **35 kg de nitrógeno.**

EJEMPLO ROTACIÓN REGADÍO

En kg / ha	Año 1 Alaf.	Año 2 Alf.	Año 3 Alf.	Año 4 Alf.	Año 5 Maiz	Año 6 Maiz (estiercol)
Salidas.	1435	1435	1435	1435	1435	1435
Entradas.	800	800	800	1160	1170	1170 +700
BALANCE	- 635	- 635	- 635	- 275	- 265	+ 435
Balance Global						- 2010

EJEMPLO ROTACIÓN REGADÍO

En kg / ha	Año 1 Alaf.	Año 2 Alf.	Año 3 Alf.	Año 4 Alf.	Año 5 Maiz	Año 6 Maiz (estiercol)
Entradas N.	84	84	84	147	63	63 + 134
Fijación N.	40	40	40	58	59	59 + 35
BALANCE	+ 44	+ 44	+ 44	+ 89	+ 4	+ 103

- **BIBLIOGRAFÍA.**

- Porta, J.; Lopez-Acevedo, M.; Roquero, C.: EDAFOLOGÍA PARA LA AGRICULTURA Y EL MEDIO AMBIENTE. Ed. Mundi-Prensa. 849 pp. 2ª ed. España (1999).
- Boixadera, J.; Teira, M.R.(eds.): APLICACIÓN AGRÍCOLA DE RESIDUOS ORGÁNICOS. Ed.Universitat de Lleida. 356 pp. Lleida (2001).
- Saña, J.; y col.: LA GESTIÓN DE LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS. Ed. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. 277 pp. Madrid (1996).
- Labrador, J.: LA MATERIA ORGÁNICA EN LOS AGROECOSISTEMAS. Ed. Mundi-Prensa. 293 pp. España (1996).
- Informaciones Técnicas (número extraordinario): FERTILIZACIÓN NITROGENADA. GUIA DE ACTUALIZACIÓN. Ed. Gobierno de Aragón. 196 pp. Zaragoza (2006).