UNIDADES DE MEDIDA, SÍMBOLOS Y TERMINOLOGÍA IMPORTANTES UTILIZADOS EN FISIOLOGÍA VEGETAL

R. Nieto-Ángel[1]; D. Nieto-Ángel[2]; A. F. Barrientos-Priego[1]

[1]Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera México-Texcoco Km. 38.5, Chapingo, México.,C.P. 56230. México.
[2]Instituto de Fitosanidad, Colegio de Posgraduados, Montecillo, México., C.P. 56230. México.

INTRODUCCIÓN

El lenguaje científico exige la utilización de "unidades de medida" y símbolos correctos y de aceptación universal. En la XI Conferencia General de Pesas y Medidas, celebrada en 1960, en París, se adoptó el nombre de Sistema Internacional de Unidades, con la abreviatura internacional de SI para todos los idiomas, diseñada para simplificar el sistema métrico entonces en uso y para unificar la aplicación de unidades en todas las ciencias y en otras actividades humanas. A la vez se reglamentaron las unidades derivadas y las unidades suplementarias, que, al lado de las reglas para los prefijos, constituyen los ingredientes del conjunto de tablas que aparecen a continuación.

En revistas científicas dedicadas a publicaciones relacionadas a las plantas, tales como HortScience y el J. Amer. Soc. Hort. Sci., algunos autores usan el Sistema Métrico Decimal y otros las Normas del Sistema Internacional de Unidades, comunmente llamado SI.

Son muchos los ejemplos que pueden citarse en donde se han cometido errores al usar unidades "antiguas", tales como mg $CO_2 \cdot dm^{-2} \cdot hr^{-1}$, g $H_2O \cdot dm^{-2} \cdot hr^{-1}$, en lugar de μmol $(CO_2) \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$ y mmol $(H_2O) \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$. Errores similares se detectan en unidades como MT/ha, mg P/g de suelo, mg/100 g FW, mg·1000 cc^{-1} y algunos aún más inapropiados como ml/kg/hr, Kg/Ha, ton/ha, etc., estos errores son más frecuentes cuando el que escribe una publicación se está iniciando en el mundo de la ciencia, o bien al escribir el documento que se presentará como trabajo de tesis. Este tipo de errores es un indicador de que el autor o autores no están familiarizados con las normas del Sistema Internacional de Unidades.

Las muchas variaciones en el uso del Sistema Métrico Decimal fue lo que aceleró el desarrollo del Sistema Internacional (SI) de Unidades. En 1948, en la 9ª Conferencia General de Poids et Mesures (CGPM), se formó un Comité para desarrollar un borrador de las normas para el uso de unidades de medida, con principios generales de símbolos de unidades, y para proporcionar una lista de unidades con nombres especiales. Un sistema práctico fue adoptado por la 10ª CGPM en 1954, y en 1960, en la 11ª sesión se estableció la nomenclatura y abreviaciones que ahora forman parte del Sistema Internacional de Unidades o SI.

SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

El Sistema Internacional de Unidades es extremadamente sencillo, ya que todas las unidades son referidas a solamente siete, dimensionalmente independientes, como elementos base (Cuadro 1) y dos unidades suplementarias (Cuadro 2). La unidad elemental de tiempo es el segundo, obviamente no siempre es utilizable, sólo en forma muy excepcional se usan en los ciclos del calendario, el tiempo del día y la velocidad de un vehículo. Aunque Kelvin corresponde al SI para la temperatura (T), Celsius también es aceptable para la temperatura (t); ambas temperaturas están relacionadas ya que: t = T - 273.15 K.

CUADRO 1. Unidades básicas o fundamentales del Sistema Internacional de Unidades

Magnitud	Unidad	Símbolo
longitud (l)	metro	m
masa (m)	kilogramo	kg
tiempo (t)	segundo	s
intensidad de corriente eléctrica (I)	amperio[z]	A
temperatura termodinámica (T)	kelvin	K
cantidad de sustancia (n, Q)	mol	mol[y]
intensidad luminosa (I)	candela	cd

[z] Para publicaciones internacionales debe utilizarse la palabra "ampere"
[y] Si se usa el símbolo de la unidad "mol" el tipo de partícula debe ser determinado, y éste puede ser átomo, molécula, ion, electrón, cuantum y otras partículas o grupo de partículas.

CUADRO 2. Unidades suplementarias del Sistema Internacional de Unidades.

Magnitud	Unidad	Símbolo
ángulo plano	radián	rad
ángulo sólido	estereorradián	sr

Todas las otras unidades son derivadas por combinación de dos o más de los elementos base y definidas por ecuaciones

Recibido: 13 de septiembre de 1999
Aceptado: 12 de enero del 2001

simples. Por ejemplo, velocidad, es distancia o longitud por unidad de tiempo, definida como v =dl/dt y descrita como metros por segundo, $m \cdot s^{-1}$. La conductividad térmica (k), es el calor transmitido por una unidad de tiempo a través de un material de unidad de longitud y el área transversal cuando la superficie opuesta es conservada a una diferencia de unidad de temperatura; así, $k = W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$, o, $J \cdot s^{-1} \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$.

UNIDADES DERIVADAS DEL SI

Varias unidades se han derivado del SI con nombres especiales, tales como siemens (S) para conductancia y joule (J) para energía (Cuadro 3). Las unidades con nombres especiales son derivadas de siete unidades básicas, aunque la derivación puede no ser inmediatamente clara. Por ejemplo, el newton es la fuerza que ejerce una unidad de masa en aceleración en una unidad de distancia por segundo; así las unidades que se derivan son $kg \cdot m \cdot s^{-2}$. Sin embargo, la derivación de la unidad de energía, el joule, puede ser menos clara. Una unidad de energía es el trabajo representado cuando una unidad de fuerza ejercida a través de una unidad de distancia a lo largo de la dirección de la fuerza. El joule podría ser igual a un newton metro, N·m, y las unidades derivadas son $(kg \cdot m \cdot s^{-2})m$. La velocidad de tiempo para realizar un trabajo expresado como watts, es la energía por unidad de tiempo, $J \cdot s^{-1}$, o, $N \cdot m \cdot s^{-1}$, basado en las unidades base de kg, m, y s.

CUADRO 3. Unidades derivadas con nombres especiales del Sistema Internacional.

Física Cuántica	Unidades	Símbolo	Definición
dósis de absorción	gray	Gy	$J \cdot kg^{-1}$
capacitancia eléctrica (C)	farad[z]	F	$A \cdot s \cdot V^{-1}$
conductancia eléctrica (G)	siemens	S	$A \cdot V^{-1}$
actividad (fuente de radioactividad; A)	becquerel	Bq	$l \cdot s^{-1}$
carga eléctrica (Q)	coulomb[z]	C	A·s
potencial eléctrico (V, j)	volt[z]	V	$W \cdot A^{-1}$
energía (E), trabajo (W), calor (Q)	joule[z]	J	N·m
fuerza (F)	newton	N	$kg \cdot m \cdot s^{-2}$
iluminación	lux	lx	$lm \cdot m^{-2}$
inductancia	henry[z]	H	$V \cdot s \cdot A^{-1}$
flujo luminoso	lumen	lm	cd·sr
flujo magnético	weber[z]	Wb	V·s
densidad de flujo magnético	tesla	T	$Wb \cdot m^{-2}$
presión (p)	pascal[z]	Pa	$N \cdot m^{-2}$
fuerza (P)	watt[z]	W	$J \cdot s^{-1}$
resistencia	ohm[z]	Ω	$V \cdot A^{-1}$
volumen	litro	L (l)[y]	dm^3
frecuencia (ν, Griego nu)	herz[z]	Hz	ciclo s^{-1}
dosis de radiación	sievert	Sv	
temperatura	grado	Celsius	°C

[z]Estas unidades tienen su terminología española (faradio, culombio, voltio, julio, henrio, weberio, pascalio, vatio, ohmio, hercio) a la cual debe renunciarse en favor de la internacional. La Conferencia Internacional de Pesas y Medidas (CIPM) permite acentuar a la española los nombres derivados de antropónimos (siémens, siévert, wéber), si con ello se facilita la pronunciación de la palabra, pero sin variar el resto de ella.
[y]La CIPM acepta, desde 1979, las dos grafías, L y l (anteriormente, sólo l) transitoriamente, pero debe preferirse la grafía con mayúscula, L, para evitar la confusión con la cifra 1 (uno) a que da lugar la letra l minúscula.

CUADRO 4. Símbolos de múltiplos y submúltiplos del SI.

Factor Multiplicador	Prefijo	Símbolo	Ejemplos
Múltiplos			
10^{18} = 1 000 000 000 000 000 000	exa	E	EF (exafarad), Ebar (exabar)
10^{15} = 1 000 000 000 000 000	peta	P	PA (petaampere), Plx (petalux)
10^{12} = 1 000 000 000 000	tera	T	TBq (terabecquerel), TGy (teragray)
10^{9} = 1 000 000 000	giga	G	Grad (gigarradian), GW (gigaohmio)
10^{6} = 1 000 000	mega	M	MK (megakelvin), Mmol (megamol)
10^{3} = 1 000	kilo	k	kg (kilogramo), kW (kilowatt)
10^{2} = 100	hecto	h	hL (hectolitro), hm (hectómetro)
10^{1} = 10	deca	da	dag (decagramo), dam (decámetro)
10^{0} = 1	unidad		
Submúltiplos			
10^{-1} = 0.1	deci	d	dm (decímetro), dL (decilitro)
10^{-2} = 0.01	centi	c	cC (centicoulomb), cg (centigramo)
10^{-3} = 0.001	mili	m	mm (milímetro), mT (militesla)
10^{-6} = 0.000 001	micro	µ	µm (micrómetro), mΩ (microohmio)
10^{-9} = 0.000 000 001	nano	n	nF (nanofarad), nPa (nanopascal)
10^{-12} = 0.000 000 000 001	pico	p	plm (picolumen), pcd (picocandela)
10^{-15} = 0.000 000 000 000 001	femto	f	Fpc (femtoparsec), fs (femtosegundo)
10^{-18} = 0.000 000 000 000 000 001	atto	a	aV (attovolt), aN (attonewton)

SÍMBOLOS MÚLTIPLOS Y SUBMÚLTIPLOS DEL SI

Una serie de prefijos de un intervalo de magnitudes de unidades de 10^{18} a 10^{-18} es parte integral del SI (Cuadro 4), referidas a múltiplos relacionados a la unidad base por un factor de 1000. Prefijos de 100, 10, 0.1 y 0.01, están limitados por la norma del SI a áreas donde cada unidad posee una historia de uso y éstas no han sido introducidas dentro de otros campos. Por ejemplo, normalmente las principales medidas están dadas en centímetros. El uso de centímetros para altura de plantas o longitud de tallos y los centímetros cuadrados para el área foliar son razonables, aunque dichos usos tienen una aceptación muy reciente en el SI.

UNIDADES PROHIBIDAS Y TEMPORALMENTE ACEPTADAS POR LA NORMA DEL SI

Un determinado número de unidades han sido usados en campos específicos y aprobadas bajo la norma del SI (Cuadro 5). Por ejemplo, el curie (Ci) fue aceptado en la 12ª CGPM (1964) como la unidad de actividad de radionuclidos, para quienes trabajan con material radioactivo. El litro, que originalmente fue propuesto como el volumen de decímetro cúbico, fue aceptado como unidad de volumen en la 3ª CGPM en 1901, y definido como el volumen ocupado por 1 kg de agua pura a la máxima densidad y presión atmosférica normal. Más tarde se descubrió que la definición de medida de volumen no es exactamente igual a un decímetro cúbico. En la CGPM de 1964, retomaron la definición del litro de 1901, pero considerando que el litro fue un nombre especial para el decímetro cúbico. El Comité Internacional de Puntos y Medidas reconoció que, en relación al litro, la tonelada métrica y hectárea, también fueron en general de uso comercial y la CGPM adoptó una resolución aprobando estas unidades. Sin embargo, el litro está restringido para el uso con gas y volúmenes de líquidos, la tonelada métrica para uso comercial, y la hectárea para el suelo y áreas de agua.

CUADRO 5. Ejemplos de unidades familiares prohibidas por la norma del Sistema Internacional.

Física Cuántica	Unidades	Valores del SI y unidades
energía	caloría, gramo	4.184 J
energía	Btu	1054.35 J
energía	erg	10^{-7} J
fuerza	dina	10^{-5} N
flujo magnético	maxwell	10^{-8} Wb
longitud	micron	1 μm
longitud	milicrom	1 nm
longitud	Angstrom	0.1 nm
luminancia	stilb	10^{4} cd·m^{-2}
conductancia	mho	1 S
densidad de flujo de fotón	einstein	1 mol

Muchas unidades familiares, como el Angstrom (Å) para longitud de onda y las calorías para la energía radiante, no están aprobadas por las unidades del SI. Estas y otras unidades que no deberían ser usadas bajo ninguna circunstancia, aparecen en el Cuadro 6.

CUADRO 6. Unidades que se utilizan en sectores especializados y reconocidos por el SI.

Unidad	Símbolo
electronvolt (electronvoltio)	eV
pársec	pc
unidad astronómica	UA
unidad de masa atómica unificada	u

CUADRO 7. Unidades que se mantienen temporalmente en el SI.

Unidad	Símbolo	Valor
área	m^2	
bar	bar	0.1 megapascal (MPa) o 100 kilopascal (kPa)
curie	Ci	37 GBq
hectárea	ha	10 000 m^2 o 10^4 m^2 ó 0.01 km^2
milibar	mbar	10^2 Pa
milla náutica=milla marina	N·m^{-1}	1,852 m
nudo	kn	1.852 km·h^{-1}
partes por millón	ppm	mg·kg^{-1} o mmol·mol^{-1} (p.ej., CO_2 en aire)
revolución por minuto	rpm	
roetgen	R	2.58 x 10^{-4} C/kg
tonelada métrica	t	10^3 kg

UNIDADES USADAS CON EL SI Y NO OFICIALIZADAS POR EL MISMO SI

CUADRO 8. Algunas unidades usadas con el SI pero que no están oficializadas como parte del SI.

Unidad	Símbolo	Valores de unidades en SI
minuto	min	1 min = 60 s
hora	h	1 h = 60 min = 3600 s
día	d	1 d = 24 h = 86 400 s
grado	o	1º = (π/180) rad
minuto	'	1' = (1/60)º = (π/10 800) rad
segundo	"	1" = (1/60)' = (π/648 000) rad
litro	L (l)	1 L = 1 dm^3 = 10^{-3} m^3

IMPORTANTES UNIDADES DERIVADAS DEL SI

CUADRO 9. Unidades mecánicas del SI.

Cantidad	Unidad	Símbolo de la unidad	Otro símbolo	Equivalencia
superficie	metro cuadrado	m^2		10^4 cm^2
volumen	metro cúbico	m^3		10^6 cm^3
densidad de masa	kilogramo por metro cúbico	$kg \cdot m^{-3}$		$10^{-3} g \cdot cm^{-3}$
velocidad lineal	metro por segundo	$m \cdot s^{-1}$		
aceleración lineal	metro por segundo cuadrado	$m \cdot s^{-2}$		
fuerza	newton (kilogramo -metro por segundo al cuadrado	N	$kg \cdot m \cdot s^{-2}$	10^5 dyn
presión, tensión	pascal (newton por metro cuadrado)	Pa	$N \cdot m^{-2}$	10^{-5} bar
energía, trabajo, cantidad de calor	julio	J	$N \cdot m^{-2}$	10^7 erg
potencia, flujo radiante	vatio (julio por segundo)	W	$J \cdot s^{-1}$	
momento de inercia	kilogramo-metro cuadrado	$k \cdot m^2$		
velocidad angular	radián por segundo	$rad \cdot s^{-1}$		57.3º s^{-1}
aceleración angular	radián por segundo cuadrado	$rad \cdot s^{-2}$		
momento de una fuerza	newton-metro	$N \cdot m$		
frecuencia	hertz	Hz	(ciclo) s^{-1}	
número de ondas	onda por metro	m^{-1}		
viscosidad cinemática	metro cuadrado por segundo	$m^2 \cdot s^{-1}$		10^4 St
viscosidad dinámica	pascal-segundo	$Pa \cdot s$	$N \cdot s \cdot m^{-2}$	10 P
módulo de elasticidad	newton por metro cuadrado	$N \cdot m^{-2}$		
tensión superficial	newton por metro	$N \cdot m^{-1}$	$J \cdot m^{-2}$	

CUADRO 10. Unidades térmicas del SI.

Cantidad	Nombre de la unidad	Símbolo de la unidad
calor	julio	J
capacidad calorífica	julio por kelvin	$J \cdot K^{-1}$
calor específico	julio por kilogramo y kelvin	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
calor de cambio de fase	julio por kilogramo	$J \cdot kg^{-1}$
calor molar	julio por mol kelvin	$J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$
entropía	julio por kelvin	$J \cdot K^{-1}$
coeficiente de conductividad	vatio por metro kelvin	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
coeficiente de transmisión de calor	vatio por metro cuadrado kelviin	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
gradiente termal	kelvin por metro	$K \cdot m^{-1}$
resistencia termal	kelvin por vatio	$K \cdot W^{-1}$

CUADRO 11. Unidades eléctricas y cantidades magnéticas del SI.

Cantidad	Unidad	Símbolo	Otro símbolo	Equivalencia
carga eléctrica	culombio	C	$A \cdot s$	3×10^9 u.e.s.
tensión eléctrica	voltio	V	$J \cdot C^{-1}$	1/300 u.e.s.
resistencia	ohmio	Ω	$V \cdot A^{-1}$	
conductancia	siemens	S	$A \cdot V^{-1}$	
capacidad	faradio	F	$C \cdot V^{-1}$	
campo eléctrico (*E*)	voltio por metro	$V \cdot m^{-1}$	$N \cdot C^{-1}$	
desplazamiento eléctrico (*D*)	culombio por metro cuadrado	$C \cdot m^{-2}$		
permitividad	faradio por metro	$F \cdot m^{-1}$	$C^2 \cdot m^{-2} \cdot N^{-1}$	
momento eléctrico	culombio-metro	$C \cdot m$		
flujo magnético	weber	Wb	$V \cdot s$	10^8 Mx
inductancia	henrio	H	$Wb \cdot A^{-1}$	
inducción magnética (*B*)	tesla	T	$Wb \cdot m^{-2}$	10^4 G
campo magnético (*H*)	amperio por metro	$A \cdot m^{-1}$		$4\pi \times 10^{-3}$ Oe
permeabilidad	henrio por metro	$H \cdot m^{-1}$	$N \cdot A^{-2}$	
momento magnético	amperio-metro cuadrado	$A \cdot m^2$	$J \cdot T^{-1}$	
fuerza magnetomotriz	amperio	A		$4\pi/10$ Gi

CUADRO 12. Unidades de cantidades ópticas del SI.

Cantidad	Unidad	Símbolo	Otro símbolo
intensidad de radiación	vatio por estereorradián	$W \cdot sr^{-1}$	
irradiancia (flujo de energía)	vatio por metro cuadrado	$W \cdot m^{-2}$	
irradiancia (flujo cuántico)	micromol por metro cuadrado y segundo	$\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$	
irradiación, energía de flujo	julio por metro cuadrado	$J \cdot m^{-2}$	
luminancia	candela por metro cuadrado	$cd \cdot m^{-2}$	
flujo de luz, flujo luminoso	lumen (candela-estereorradián)	lm	cd·sr
intensidad de luz (luminoso)	candela (lumen por estereorradián)	cd	$(lm \cdot sr^{-1})$
cantidad de luz	lumen-segundo	lm·s	
iluminancia	lux (lumen por metro cuadrado)	lx	$lm \cdot m^{-2}$
iluminación	lux-segundo	lx·s	

CUADRO 13. Unidades de cantidades acústicas del SI.

Cantidad	Unidad	Símbolo	Otro símbolo
presión acústica	pascal (metro por metro cuadrado)	Pa	$N \cdot m^{-2}$
velocidad acústica	metro por segundo	$m \cdot s^{-1}$	
densidad acústica	vatio por metro cuadrado	$W \cdot m^{-2}$	

CUADRO 14. Unidades de cantidades fisicoquímicas del SI.

Cantidad	Unidad	Símbolo
masa molar (peso)	kilogramo por mol	$kg \cdot mol^{-1}$
volumen molar	metro cúbico por mol	$m^3 \cdot mol^{-1}$
energía molar	julio por mol	$J \cdot mol^{-1}$
capacidad de calor molar	julio por mol y kelvin	$J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$
concentración molar (de solución), molaridad	mol por metro cúbico	$mol \cdot m^{-3}$
concentración molal (de solvente), molalidad	mol por kilogramo	$mol \cdot kg^{-1}$

CUADRO 15. Unidades de cantidades radioactivas del SI.

Cantidad	Unidad	Símbolo	Otro símbolo
desintegración radioactiva	becquerel (1 por segundo)	Bq	s^{-1}
dosis absorbida	gray (julio por kilogramo)	Gy	$J \cdot kg^{-1}$
dosis porcentual absorbida	gray por segundo	$Gy \cdot s^{-1}$	
dosis de exposición	culombio por kilogramo	$C \cdot kg^{-1}$	
dosis porcentual de exposición	ampere por kilogramo	$A \cdot kg^{-1}$	

CUADRO 16. Constantes fundamentales para el uso de algunos valores.

Velocidad de la luz	$c = 2.998 \cdot 10^{8}$ m·s^{-1}
Unidad de masa atómica	u = $1.66057 \cdot 10^{-27}$ kg
Carga eléctrica elemental	e = $1.602 \cdot 10^{-19}$ C
Constante de Planck	$h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ J·s
Constante de Boltzmann	k = $1.381 \cdot 10^{-23}$ J·K^{-1}
Constante Faraday	F = $9.649 \cdot 10^{4}$ C·mol^{-1}
Número de Avogadro	$N_A = 6.022 \cdot 10^{23}$ mol^{-1}
Constante molar de gas	R = 8.314 J·mol^{-1}·K^{-1}
Volumen molar del gas ideal	$V_m = 22.41 \cdot 10^{-3}$ m^3·mol^{-1}
Cero absoluto	0 K = -273.15 °C

CUADRO 17. Unidades radiométricas importantes.

A. Radiación total (300 - 3000 nm)	
irradiancia (flujo de energía)	W·m^{-2} (J·m^{-2}·s^{-1})
irradiancia espectral	W·m^{-2}·nm^{-1}
densidad de flujo cuántico	µmol(quantum)·m^{-2}·s^{-1}
irradiancia cuántica	µmol(quantum)·m^{-2}·s^{-1}
irradiancia cuántica espectral	µmol(quantum)·m^{-2}·s^{-1}·nm^{-1}
irradiancia cuántica diaria	mol(quantum)·m^{-2}·d^{-1}
B. Radiación Fotosintéticamente Activa (400 - 700 nm, PAR) (*Photosynthetically Active Radiation*)	
irradiancia fotosintética (PI) (photosynthetic irradiance), (flujo de energía)	W·m^{-2}
densidad de fotón de flujo fotosintético (PPFD) (photosynthetic photon flux density)	µmol(photon)·m^{-2}·s^{-1}
irradiancia cuántica fotosintética (PQI) (photosynthetic quantum irradiance)	µmol(quantum)·m^{-2}·s^{-1}
densidad cuántica de flujo fotosintético (PQFD) (photosynthetic quantum flux density)	µmol(quantum)·m^{-2}·s^{-1}
flujo cuántico diario de PAR	mol(quantum)·m^{-2}·d^{-1}

CUADRO 18. Ejemplos de unidades de medida usados en fisiología vegetal.

Parámetro	**Unidad**
velocidad de transporte	m·s^{-1}
transporte (velocidad de reacción)	mol·s^{-1}, m^3·s^{-1}
tasa de transporte	mol·m^{-2}·s^{-1}, m^3·m^{-2}·s^{-1}
concentración de CO_2	µmol(CO_2)·mol^{-1}(aire)
eficiencia de carboxilación	mol(CO_2)·m^{-2}·s^{-1}
tasa de intercambio de CO_2 (para hojas)	µmol(CO_2)·m^{-2}·s^{-1}
absorción de CO_2 neta diaria (para plantas)	mmol(CO_2)·m^{-2}·d^{-1}
tasa neta fotosintética (P_N), tasa de respiración (R)	µmol(CO_2)·m^{-2}·s^{-1} µmol(CO_2)·kg^{-1}(d.m.)·s^{-1} mmol(O_2)·kg^{-1}(Chl)·s^{-1}
actividad de cloroplastos aislados	mmol(O_2)·kg^{-1}(Chl)·s^{-1}
tasa de transporte del electrón fotosintético	mmol(O_2)·kg^{-1}(Chl)·s^{-1}
eficiencia fotosintética del cuantum	mol(CO_2)·mol^{-1}(quantum)
uso eficiente del nitrógeno fotosintético (PNUE=P_N/N)	mol(CO_2)·mol^{-1}(N)·s^{-1}
actividad total enzimática	mol(sustrato)·s^{-1} [=kat, no es unidad del SI]
actividad específica enzimática	µmol(sustrato)·s^{-1}·kg^{-1} (proteína) [=µkat·kg^{-1}(proteína)]
actividad molar enzimática	mol(sustrato)·s^{-1}·mol^{-1} (enzima) [=kat·mol^{-1}(enzima)]
actividad enzimática de carboxilación (RuBPCO, PEPC)	µmol(CO_2)·m^{-2}·s^{-1} µmol(CO_2)·kg^{-1}(d.m.)·s^{-1} µmol(CO_2)·kg^{-1}(proteína)·s^{-1} µmol(CO_2)·kg^{-1}(Chl)·s^{-1}
$^{14}CO_2$ fijado	s·^{1}m^{-2}
radioactividad de $^{14}CO_2$	s·^{1}kg^{-1}(f.m.)
radioactividad específica de ^{14}C	GBq·kg^{-1}(C)
incorporación de ^{14}C	GBq·m^{-2}
solución de radioactividad	GBq·mol^{-1}($Na_2{}^{14}CO_3$)
concentración de $^{14}CO_2$(^{14}C)	MBq·m^{-3}
concentración de O_3	µmol(O_3)·mol^{-1}(aire)
porcentaje de absorción estomática de O_3	nmol(O_3)·m^{-2}·s^{-1}
conductancia estomática de H_2O	µmol(H_2O)·m^{-2}·s^{-1},cm·s^{-1}
reistencia estomática de CO_2	m^2·s·mol^{-1}(CO_2), s·cm^{-1}
tasa de transpiración (E)	µmol(H_2O)·m^{-2}·s^{-1}
eficiencia de uso del agua (WUE=P_N/E) (water use efficiency)	mmol(CO_2)·mol^{-1}(H_2O) g(CO_2)·kg^{-1}(H_2O)
calor de evaporación del agua	kJ·mol^{-1}(H_2O)
flujo endotérmico de calor	mJ·K^{-1}
tasa de asimilación neta (NAR) (net assimilation rate)	kg·m^{-2}·d^{-1}
tasa relativa de crecimiento (RGR) (relative growth rate)	kg·kg^{-1}·d^{-1}
razón de área foliar (LAR) (leaf area ratio)	m^2·kg^{-1} (planta)
área foliar específica (SLA) (specific area ratio)	m^2·kg^{-1}(hojas)
índice de área foliar (LAI) (leaf area index)	m^2·m^{-2}(suelo)
densidad foliar (hoja)	g·m^{-2}
área foliar por planta	m^2·planta^{-1}
cociente de producción de biomasa	kg·GJ^{-1}
uso eficiente de la radiación	g·MJ^{-1}
energía solar absorbida por el follaje	GJ·m^{-2}·año^{-1}
contenido total de pigmento (Chl, Car)	g·m^{-2}, mg·kg^{-1}
razón total molar de Chl a total de Car	mol(Chl)·mol^{-1}(Car)
contenido de biomoléculas (aminoácidos libres, nitrato, azúcar)	mmol·kg^{-1}
concentración de metal	mg·kg^{-1}
concentración de solución	mol·m^{-3}
presión osmótica, potencial hídrico	MPa
concentración osmóticamente activa, solución osmolal, osmolalidad	osmol·kg^{-1} 1 osmol·kg^{-1}≡ -2.48 MPa a 25 °C
masa molecular (peso)	g·mol^{-1}
partícula de masa (peso)	Da (no es unidad del SI) 1 Da=1 amu= $1.66057 \cdot 10^{-27}$ kg

Si se usa "mol" es necesario definir el tipo de partícula [p.ej., $\mu mol(CO_2)\cdot m^{-2}\cdot s^{-1}$, $\mu mol(CO_2)\cdot mol^{-1}$(aire). $kJ\cdot mol^{-1}(H_2O)$, $mol(NaCl)\cdot m^{-3}$, $mmol(HCO_3^-)\cdot m^{-3}$].

Abreviaciones: RuBPCO -ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa-oxidasa, PEPC -fosfoenolpiruvato carboxilasa, kat -katal, Chl -clorofila, Car -carotenoides, C -carbón, d.m. - materia seca, f.m. -materia fresca, d -día, amu -unidad de masa atómica, Da -dalton (kDa es aceptado para caracterización de masa molecular de proteínas).

UNIDADES DE MEDIDA LEGAL (NO SON UNIDADES DEL SI)

Grados Celsius (centigrado): 0 °C = 273.15 K, 100 °C = 373.15 K.

El grado Celsius es una unidad admitida de uso común.

Unidades de tiempo: minuto (min)*, hora (h)*, día (d), año (a).

*Se usan solamente para descripción (p.ej., irradiado por 2 horas y 30 min).

Unidad de volumen: litro: 1 l* = 1 dm^3 = 10^{-3} m^3.

*Debe utilizarse solamente para la determinación del volumen de algunos líquidos.

Razón de dos valores de algunas cantidades: unidad (1), porcentaje (%), por mil (%o)

(p.ej., la humedad relativa (RH) del aire fue 80 %, u 80 % RH).

CONVERSIÓN DE UNIDADES ANTIGÜAS A UNIDADES DEL SI

1 at = 98.07 kPa
1 atm (760 mm Hg) = 101.3 kPa
1 bar = 10^{-1} MPa

1 cal = 4.186 J
1 $cal\cdot cm^{-2}\cdot min^{-1}$ = 697.8 $W\cdot m^{-2}$

1 erg = 10^{-7} J
1 $erg\cdot s^{-1}$ = 10^{-7} W
1 $erg\cdot cm^{-2}\cdot s^{-1}$ = 10^{-3} $W\cdot m^{-2}$ = 0.0046 $\mu mol(quantum)\cdot m^{-2}\cdot s^{-1}$

1 $kW\cdot h$ = $3.6\cdot 10^6$ J
1 eV = $1.6\cdot 10^{-19}$ J
1 $eV\cdot cm^{-2}\cdot s^{-1}$ = $1.6\cdot 10^{-15}$ $W\cdot m^{-2}$

1 E(eistein) = 1 mol(quantum)
1 $\mu E\cdot m^{-2}\cdot s^{-1}$ = 1 $\mu mol(quantum)\cdot m^{-2}\cdot s^{-1}$

1 mol(fotón) = 1 mol(quantum) PAR
1 $W\cdot m^{-2}$ PAR = 4.6 $mmol(quantum)\cdot m^{-2}\cdot s^{-1}$ PAR

1 $\mu mol(quantum)\cdot m^{-2}\cdot s^{-1}$ PAR = 0.218 $W\cdot m^{-2}$ PAR

1 klx = 4 $W\cdot m^{-2}$ PAR = 18 $\mu mol(quantum)\cdot m^{-2}\cdot s^{-1}$ PAR

Concentración de CO_2:
porcentaje de CO_2 del aire, en moles:
$\mu mol(CO_2)\cdot mol^{-1}$(aire)
1 ppm(CO_2) = 1 vpm = 1 $\mu l\cdot l^{-1}$ = 1 $cm^3\cdot m^{-3}$ = 1 $\mu mol(CO_2)\cdot mol^{-1}$ (aire)
moles de CO_2 por volumen de aire: $\mu mol(CO_2)\cdot m^{-3}$
1 ppm(CO_2)=1.83 $mg(CO_2)\cdot m^{-3}$ =41.6 $\mu mol(CO_2)\cdot m^{-3}$ (a 20 °C y 101.3 kPa)

tasa fotosintética neta (P_N), tasa de respiración (R):
1 $mg(CO_2)\cdot dm^{-2}\cdot h^{-1}$ = 0.63 $\mu mol(CO_2)\cdot m^{-2}\cdot s^{-1}$
1 $mg(CO_2)\cdot g^{-1}$(d.m.)$\cdot h^{-1}$=6.3 $\mu mol(CO_2)\cdot kg^{-1}$(d.m.)$\cdot s^{-1}$ (a 20 °C y 101.3 kPa)

EXCEPCIONES O CASOS ESPECIALES PARA LAS CIENCIAS BOTÁNICAS

Se puede utilizar la unidad día (d) cuando es importante la integración de un período largo (p.e., las cuantificaciones del crecimiento: $kg\cdot d^{-1}$); algunas aplicaciones especiales pueden justificar el uso del minuto (min) y la hora (h), pero el segundo (s) es la unidad base en el SI.

Aún se sigue utilizando el término litro [antes su abreviatura era **l**, pero ahora se recomienda **L** de manera oficial; algunas publicaciones permiten **l** o la palabra completa **litro** para evitar confusión con el número 1 (uno), pero se prefiere L].

NOTA: Las negritas son para resaltar las letras o palabras en este párrafo.

Se utilizan concentraciones molares ($mol\cdot litro^{-1}$=M); úsese milimolar (mM) en vez de x 10^{-3}, a menos que las concentraciones se estén comparando a lo largo de un intervalo que excede tres órdenes de magnitud. Algunos especialistas en fisiología vegetal en la actualidad utilizan moles $metro^{-3}$ (1 $mol\cdot m^{-3}$ = 1 mM), la cual es la unidad del SI de concentración.

La hectárea (ha) (hectómetro cuadrado; equivale a 10,000 m^2) es muy usada en agricultura, pero se prefiere el metro cuadrado (m^2).

El centímetro se utiliza mucho, pero son preferibles el milímetro y el metro.

El angstrom (Å) sigue utilizándose en dimensiones de mediciones atómicas, pero se prefiere el nanómetro (1 nm = 10 Å).

El bar (y su derivado, el milibar, mbar) también se utiliza mucho como unidad de presión, especialmente en meteorología, pero se prefieren los múltiplos del pascal (kPa o MPa) en fisiología vegetal (como en la mayoría de las publicaciones científicas).

La caloría (cal) y la kilocaloría (kcal o Cal) se utilizan mucho aún pero deben reemplazarse por el joule (J) y el kilojoule (kJ). La caloría se define como exactamente igual a 4.18400 julio. Se han utilizado varios valores para la caloría; este valor corresponde a la "caloría termoquímica" y es el aceptado por el U. S. Bureau of Standards, ahora el National Institute of Standards and Technology, NIST.

Muchos especialistas en fisiología vegetal, utilizan el dalton (Da) como la unidad de masa atómica (1 Da = 1 $g \cdot mol^{-1}$, por ejemplo, "el peso molecular de la sacarosa es de 342.30 Da, mientras que el de la rubisco pasa de los 500 kDa"). Aunque el dalton no es una unidad de SI, resulta conveniente utilizarlo.

Los fisiólogos, bioquímicos y otros, comunmente describen las fuerzas de aceleración que se producen durante la centrifugación, o aquéllas que se experimentan en un satélite en órbita, como múltiplo de la fuerza gravitacional promedio en la superficie de la Tierra. No hay unidad SI para expresar este múltiplo de la gravedad terrestre y el símbolo para el gramo es una *g* minúscula. Un símbolo útil sería x *g* ("veces la gravedad", p.e., "la mezcla se centrifugó durante 30 min a 20,000 x *g*. Las fuerzas de aceleración en el satélite son de 10^{-3} x *g*").

CONVERSIONES AL SISTEMA MÉTRICO DECIMAL

1 pulgada (inch) = 2.540 cm

1 pie (foot) = 3.048 dm

1 yarda (yard) = 0.914 m

1 vara (rod) = 5.029 m

1 milla (mile) = 1.609 km

1 milla naútica = milla marina = 1,852 m

1 onza (ounce) = 28.35 g

1 libra (lb) (USA) = 453.59 g

1 tonelada (ton) (USA) = 907.2 kg

1 onza (vol) (ounce) = 29.57 ml

1 galón (gal) (USA) = 3.785 litros

1 bushel = 35.24 litros

1 acre (acre) = 0.405 ha

1 quintal (América Central) = 45.36 kg

Para convertir los grados centígrados en grados Farenheit, se multiplica por 9, se divide por 5 y se añade 32.

AGRADECIMIENTOS

Los autoroes agradecen a los Doctores Leszek S. Jankiewicz, Victor A. González Hernández y María Teresa Beryl Colinas León, por su valiosa revisión y observaciones al presente artículo.

LITERATURA CITADA

ANÓNIMO. 1975. Preparation of manuscripts. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 100(1): i-ii.

ANÓNIMO. 1996. Vocabulario Científico y Técnico. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. ESPASA. pp. 1067-1071.

CZARNOWSKI, M. 1996. Important measure units and used in plant physiology. Acta Physiol. Plant. 18: 173-181.

DOWNS, R.J. 1988. Rules for using the international system of units. HortScience. 23(5): 811-811.

DURÁN ALTISENT, J.M. 1982. Normas Generales para la redacción de Trabajos de Investigación. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. 54 p.

HURTADO J. DE LA SERNA, J. 1945. Vocabulario Latino-Español. Cultura Clásica y Moderna, Madrid, España.

SAVAGE, M.J. 1979. Use of the International System of Units in the plant sciences. HortScience. 14: 492-495.

SALISBURY, F.B; ROSS, C. W. 1994. Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica S.A. de C.V. México. D.F., México. pp. 671-676.

SALISBURY, F.B. (ed.). 1996. Units, Symbols, and Terminology for Plant Physiology: A Reference for Presentation of Research Results in the Plant Sciences. Oxford University Press, Inc., New York, USA. 234 p.

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE CIENCIAS HORTÍCOLAS. 1999. Diccionario de Ciencias Hortícolas. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, Barcelona, España. pp. 430-571.