




Silicio

Bioestimulante natural para la prevención de enfermedades.

Bernardo Portillo Romero
bernardoporo@gmail.com
 @bernardoportillo



Breve historia mundial del Silicio

- Japón: Desde los años 1950s, el Silicio está considerado un elemento esencial en agronomía (caso arroz).
- Mundo mundial: 2nd Silicon in Agriculture Conference, 2002. Países donde la aplicación de Silicio ha mejorado el rendimiento de cultivos en campo e invernadero: Australia, Brasil, Canadá, China India, Japón, Corea, Holanda, Rusia, Sud África, Tailandia, Inglaterra, EUA, Venezuela y Vietnam.
- Brasil: Enero 2004. El Ministerio de Agricultura, encargado de regular la producción comercial de fertilizantes, dictamina que el Silicio es un micronutriente beneficioso.
- EEUU: The Association of American Plant Food Control Officials (AAPFCO) Official Publication, 2006. Available Silicon (Silicio disponible): es la parte soluble del Silicio total de un fertilizante (ácido monosilícico).

Silicio

- Segundo elemento más abundante en la tierra.
- Elemento beneficioso
- En suelos tropicales frecuentemente no disponible para las plantas
- Es absorbido como ácido monosilícico (H_4SiO_4) no disociado en un proceso activo, parecería que es sensible a la temperatura y a los inhibidores metabólicos. La savia bruta del arroz tiene una concentración cien veces mayor que la solución radical en forma de ácido monosilícico. La mayor proporción del Si en la planta se encuentra como sílice amorfa hidratada ($SiO_2 \cdot nH_2O$), Ortega y Malavolta 2012.

Tabla 1. Descubrimiento de la esencialidad de los micronutrientes en plantas superiores (Brownell, 1965; Delwiche et al., 1961; Epstein, 1999; Eskew et al., 1983; Marschner, 1986; Wen y Chen, 1988).

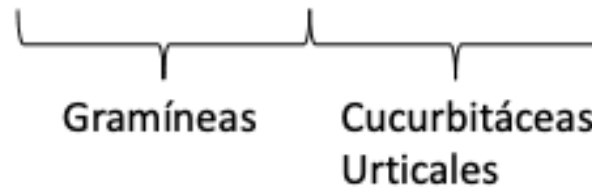
Elemento	Referencia
Fe	Sachs, 1860
Mn	McHague, 1922
B	Warington, 1923
Zn	Sommer y Lipman, 1926
Cu	Lipman y MacKinney, 1931
Mo	Arnon y Scout, 1938
Cl	Broyer et al., 1954
Co	Delwiche et al., 1961
Ni	Eskew et al., 1983
Se	Wen y Chen, 1988
Na*	Brownell, 1965
Si**	Epstein, 1999

* Esencial para especies halófitas y, posiblemente, de metabolismo C4.
 ** Benéfico o cuasi-esencial.

Criterio para plantas acumuladoras:

	[*] Si-acumulador	Intermedio	Si-excluyente
Contenido en Si (%)	> 1	1-0,5	<0,5
Relación Si/Ca	>1	1-0,5	<0,5
Grado de acumulación de Si	+	±	-

Familias de plantas asimiladoras:



Gramíneas

(arroz, trigo, cebada, maíz, mijo, avena, sorgo, pastos, céspedes, etc.)



Cucurbitáceas

(melón, calabacín, calabaza, pepino, sandía, etc.)

* En base a materia seca

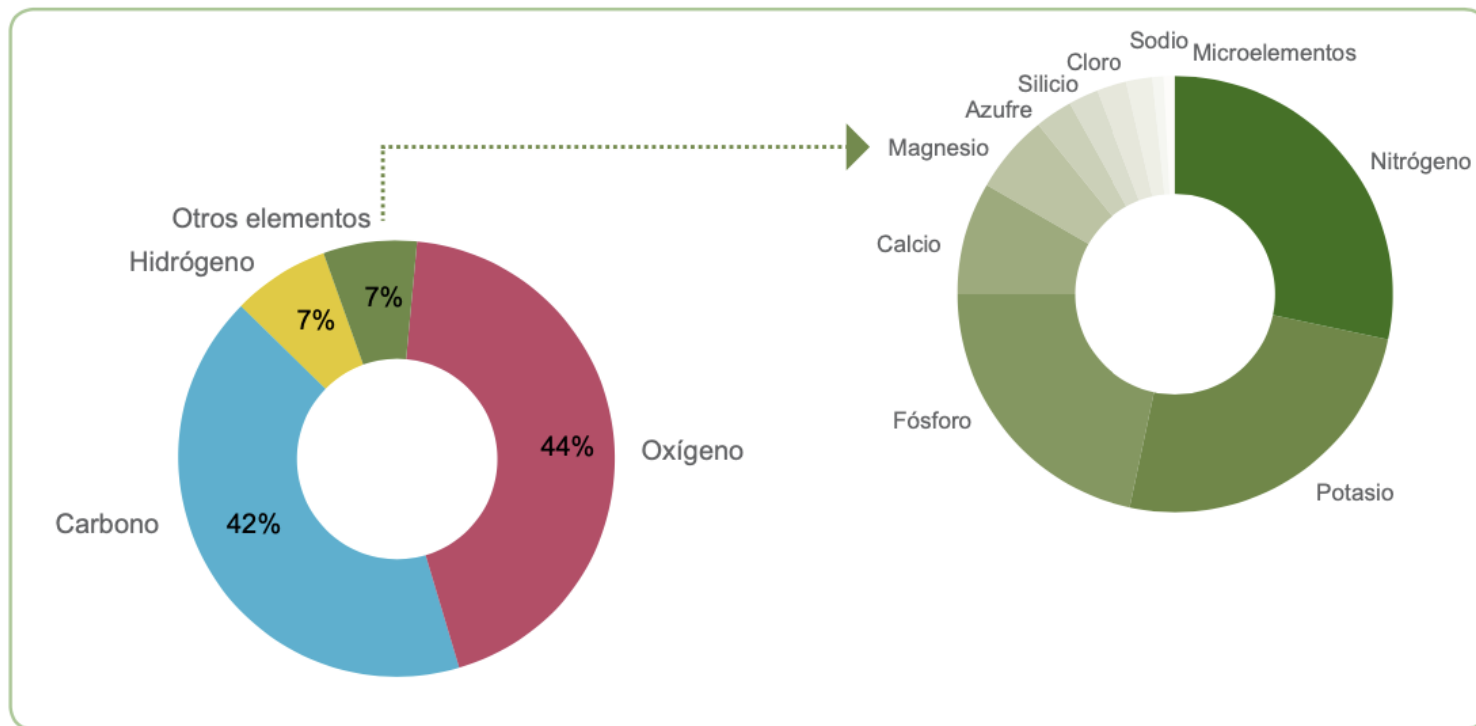
[illegible]

Lista incompleta de elementos constituyentes de las plantas

Elemento	Valor Medio en mg	Elemento	Valor medio en miligramos
Oxígeno- O	70.000	Cobre- Cu	0,2
Carbono- C	18.000	Titanio- Ti	0,1
Hidrógeno- H	10.000	Vanadio- V	0,1
Calcio- Ca	300	Boro- B	0,1
Potasio- K	300	Bario- Ba	<0,1
Nitrógeno- N	300	Estroncio- Sr	<0,1
Silicio- Si	150	Circonio- Zr	<0,1
Magnesio- Mg	70	Niquel- Ni	0,05
Fósforo- P	70	Arsénico- As	0,03
Azufre- S	50	Cobalto- Co	0,02
Aluminio- Al	20	Fluor- F	0,01
Sodio- Na	20	Litio- Li	0,01
Hierro- Fe	20	Yodo- I	0,01
Cloro- Cl	10	Plomo- Pb	<0,01
Manganeso- Mn	1	Cadmio- Cd	0,001
Cromo- Cr	0,5	Cesio- Cs	<0,001
Rubidio- Rb	0,5	Selenio- Se	<0,0001
Cinc- Zn	0,3	Mercurio- Hg	<0,0001
Molibdeno- Mo	0,3	Radio- Ra	<0,000.000.000.001

Fuente: A.P. Vinogradov, Russia. Tomado de documento inédito. "Cartilla de la remineralización de los alimentos", Pinheiro Sebastiao. Fundación Juquira Candirú. Porto Alegre. Rs. Brasil. 2002.

Figura 8 Composición promedio de las plantas



FAO, 2013.

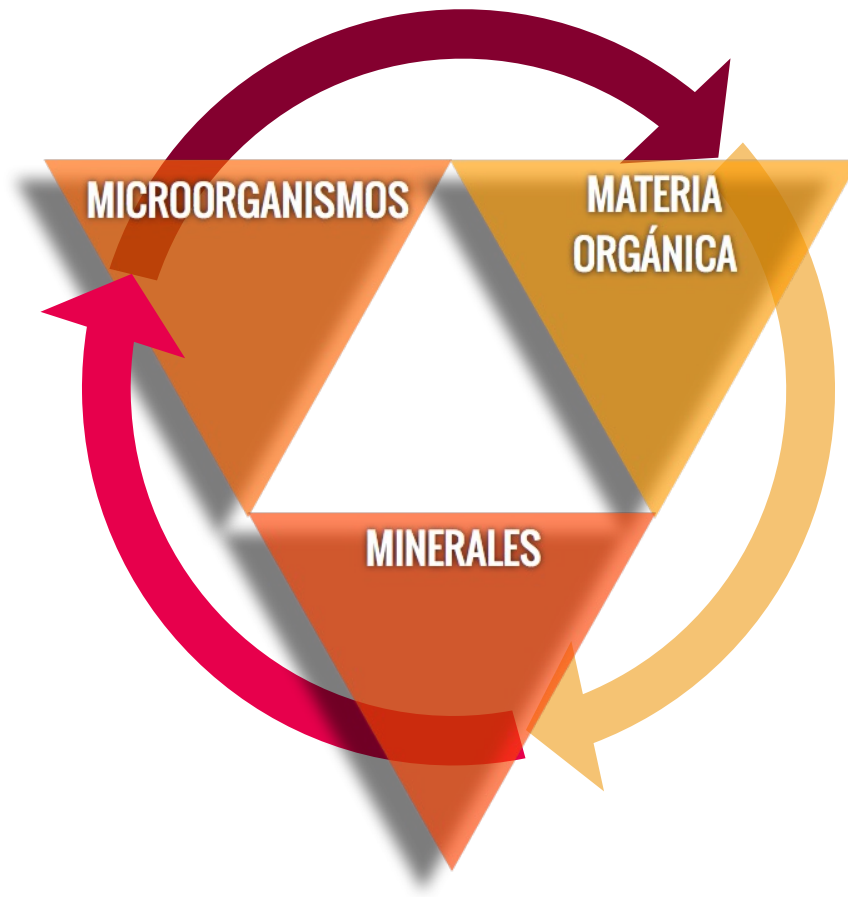
¿Que es el Silicio?

- Si, elemento mineral, el segundo más abundante en la corteza terrestre.
- Declarado en la referencias como SiO₂ (Sílice).
- Silicato; es un compuesto anión que comparte carga para unirse a un metal, $(\text{SiO}_{4-x}^{(4-2x)})_n$, Fe²⁺, Zn²⁺, Mn²⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ y Cu²⁺, No es absorbible por parte de las plantas.
- Silicio absorbible; H₄SiO₄, H₃SiO₄⁻ (del grupo de los ácidos monosilícicos),

Modo de acción del Silicio.

- Por el proceso biogeoquímico en el suelo se solubiliza el silicio.
- Entra a la planta por medio de proteínas transportadoras
- Dentro de la planta, como el silicio tiene radicales hidroxilo, atrapa a Calcio, Magnesio, Potasio, Hierro, Zinc, y los transporta a toda la planta además del anión fosfato.
- Aumento de pH al interior de la planta.
- El Silicio no puede regresar al suelo a través de la planta así que se acumula en la superficie de hojas y tallos formando estructuras sólidas llamados fitolitos (proceso de Biosilificación).
- Estos fitolitos (SiO_2) disminuyen la intensidad de daño físico que los insectos generan al morder las hojas
- Esta acumulación de silicio hace que las hojas desarrollen más y mejores tricomas que a su vez aumentan la capacidad de liberar compuestos terpenicos para repeler el ataque de insectos y enfermedades fungosas.
- Estos compuestos terpenicos son atrayentes para otros insectos beneficios principalmente.
- Aplicación foliar de productos a base de silicio es eficiente en productos que contienen silicio en forma del grupo de ácidos monosilícicos con carga eléctrica acompañado con aminoácidos (Aminoprotec Bio-Silicio).
- Una forma de acelerar absorción de silicio, en forma del grupo de ácidos monosilícicos, en producciones intensivas es con la aplicación de Aminoprotec Bio-Silicio a suelo vía riego.

Proceso Biogeoquímico, Triángulo de la nutrición vegetal edáfica



Lactobacterias viven en grandes cantidades en el suelo agrícola y consiguen absorber silicio, transforman el silicio, además de otras cosas, para que sean absorbidos como nutrientes por parte de las plantas, *Primavesi 2003*.

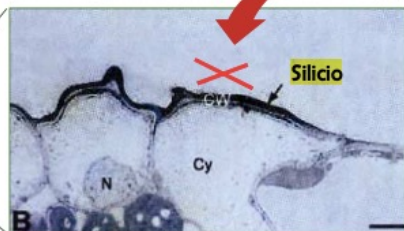


Biosilificación

Proceso de disolución y solubilización de silicio presente en los minerales primarios (MPASi) del suelo, asimilación por la rizósfera en la forma de ácido ortosilícico soluble (H_4SiO_4) mediado por proteínas de transporte de la membrana plasmática celular del tipo acuaporinas. Su transporte y distribución en los tejidos acompañado de cationes (Fe^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Cu^{2+} , $H_2PO_4^-$) en la forma de silicatos y acumulación de silicio amorfo ($SiO_2 \cdot nH_2O$) en epidermis foliar, en estructuras como tricomas, fitolitos, células buliformes y también se acumula en otros tejidos como la gluma. Este proceso de biosilificación se encuentra relacionado además con la resiliencia biótica y abiótica. Mediante este proceso la planta asimila y acumula silicio durante su crecimiento llegando a contener más de 10 gramos, ocurriendo la mayor acumulación en las hojas, esto indica un flujo permanente del suelo a los diferentes tejidos. *Quero 2019*.

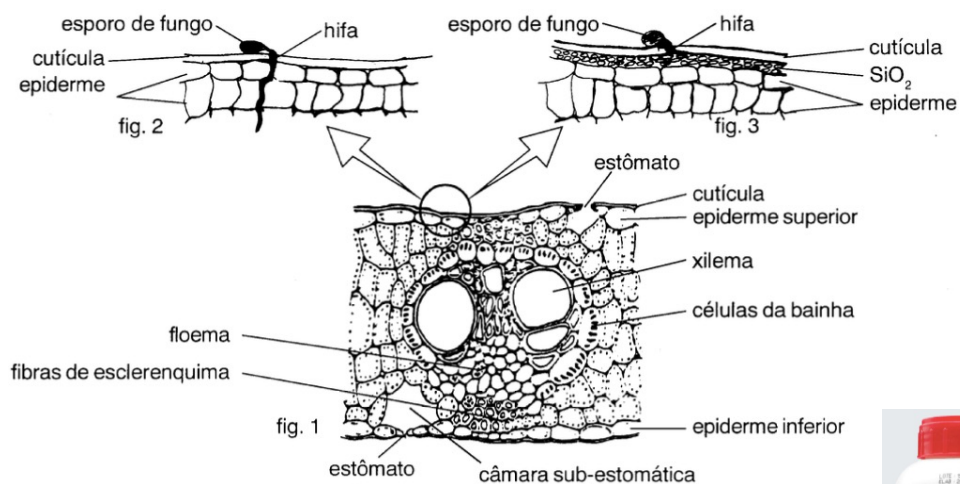


patógeno

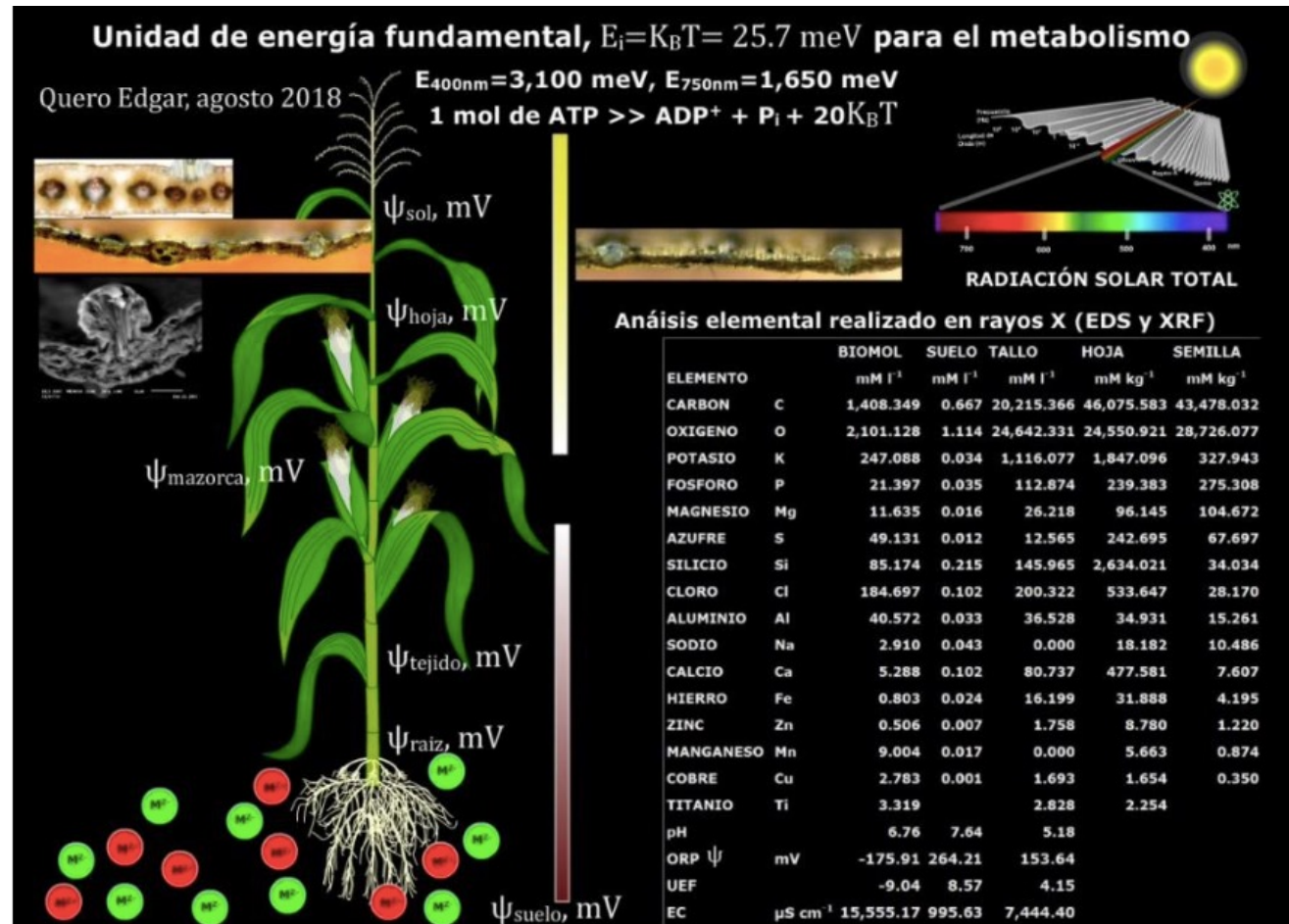


Doble capa Silicio-cuticular

La doble capa que se forma al depositarse el **Silicio** frena la entrada del hongo, abortando la germinación de la espora y evitando su penetración al interior de las hojas.







Composición química elemental y disponibilidad de energía (expresada en unidades fundamentales UEF) en la de la materia orgánica líquida (Biomol), suelo, planta y cosecha.



		BIOMOL	SUELO	TALLO	HOJA	SEMILLA
ELEMENTO		mM l ⁻¹	mM l ⁻¹	mM l ⁻¹	mM kg ⁻¹	mM kg ⁻¹
CARBON	C	1,408.349	0.667	20,215.366	46,075.583	43,478.032
OXIGENO	O	2,101.128	1.114	24,642.331	24,550.921	28,726.077
POTASIO	K	247.088	0.034	1,116.077	1,847.096	327.943
FOSFORO	P	21.397	0.035	112.874	239.383	275.308
MAGNESIO	Mg	11.635	0.016	26.218	96.145	104.672
AZUFRE	S	49.131	0.012	12.565	242.695	67.697
SILICIO	Si	85.174	0.215	145.965	2,634.021	34.034
COLORO	Cl	184.697	0.102	200.322	533.647	28.170
ALUMINIO	Al	40.572	0.033	36.528	34.931	15.261
SODIO	Na	2.910	0.043	0.000	18.182	10.486
CALCIO	Ca	5.288	0.102	80.737	477.581	7.607
HIERRO	Fe	0.803	0.024	16.199	31.888	4.195
ZINC	Zn	0.506	0.007	1.758	8.780	1.220
MANGANESO	Mn	9.004	0.017	0.000	5.663	0.874
COBRE	Cu	2.783	0.001	1.693	1.654	0.350
TITANIO	Ti	3.319		2.828	2.254	
pH		6.76	7.64	5.18		
ORP ψ	mV	-175.91	264.21	153.64		
UEF		-9.04	8.57	4.15		
EC	$\mu\text{S cm}^{-1}$	15,555.17	995.63	7,444.40		

Uso del silicio en el manejo del Huanglongbing (HLB)



Tratamientos aplicados

Tratamientos	Fertilización a suelo			Amino Protec Bio-Silicio	Amino Protec Fosfipeptidos	Amino Fert Multimineral	Fertilización Foliar	Fecha de Apicación
	Urea (g)	DAP (g)	KCl (g)					
1	100	60	80	5 ml	5 ml	5 ml	NO	27-jul
2	100	60	80	10 ml	10 ml	10 ml	NO	16-ago
3	100	60	80	5 ml	5 ml	5 ml	SI	06-sep
4	100	60	80	10 ml	10 ml	10 ml	SI	27-sep
5	0	0	0	0	0	0	SI	17-nov
6	0	0	0	0	0	0	NO	-

Nota:

La fertilización foliar consiste en las siguientes cantidades de minerales por árbol.

Magnesio	0.75 ml	Hierro	4.5 ml
Manganeso	0.66ml	Selenito de sodio	20 mg
Zinc Cobre	1.1 ml		





1



2



3

INDICE DE SEVERIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Sano
2	Hojas con presencia de manchas cloróticas con un máximo del 20% .
3	Ramas con presencia de hojas con manchas cloróticas de un 50% .
4	Hojas en ramas que presentan clorosis, enrollamiento y engrosamiento de la vena.
5	Árbol defoliado
6	Muerte del árbol



4

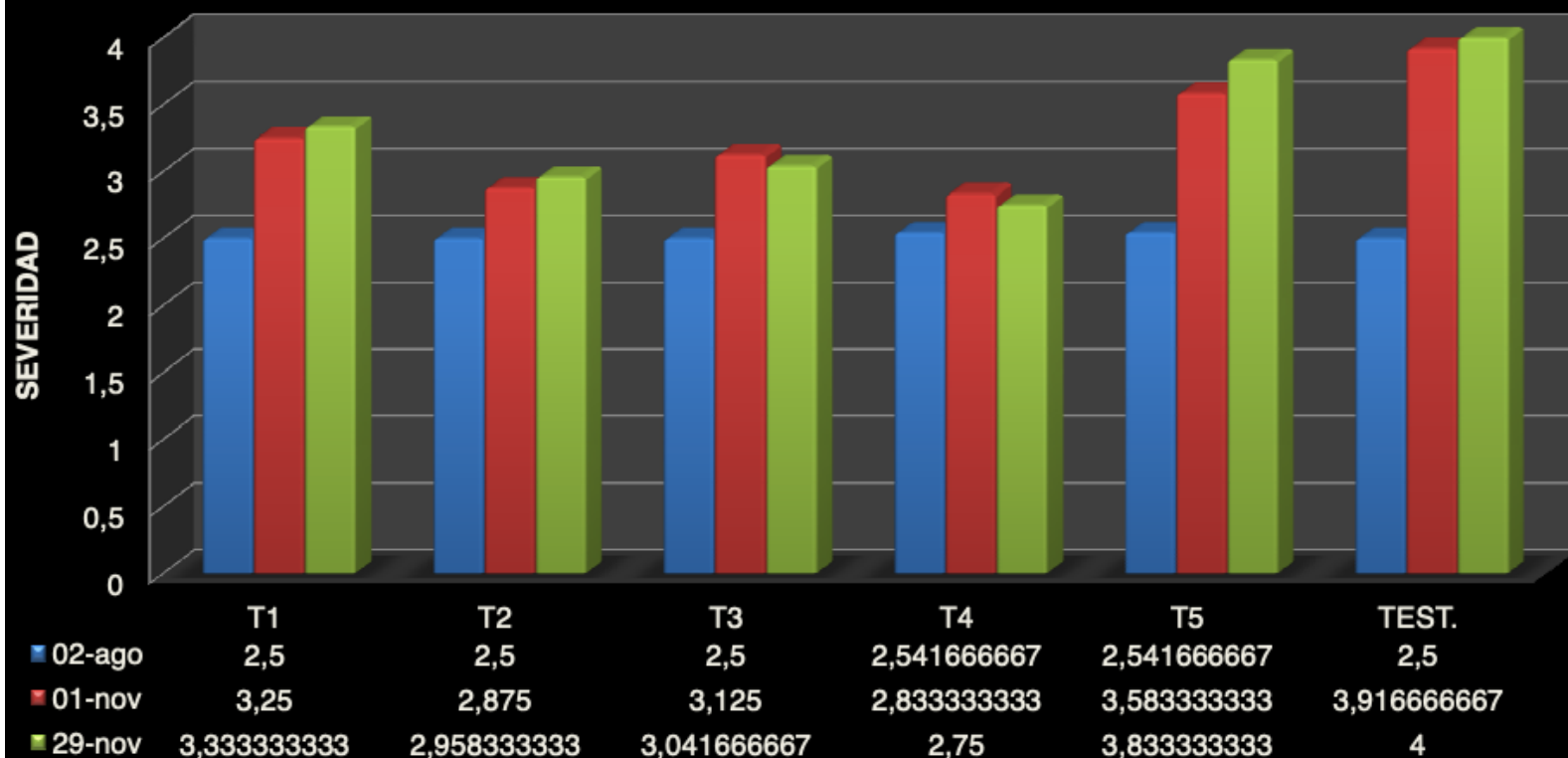


5



6

Resultados de 3 aplicaciones



Dinámica de daño (severidad) de limón mexicano en el municipio de Tecoman, Colima en relación a la aplicación de **silicio**

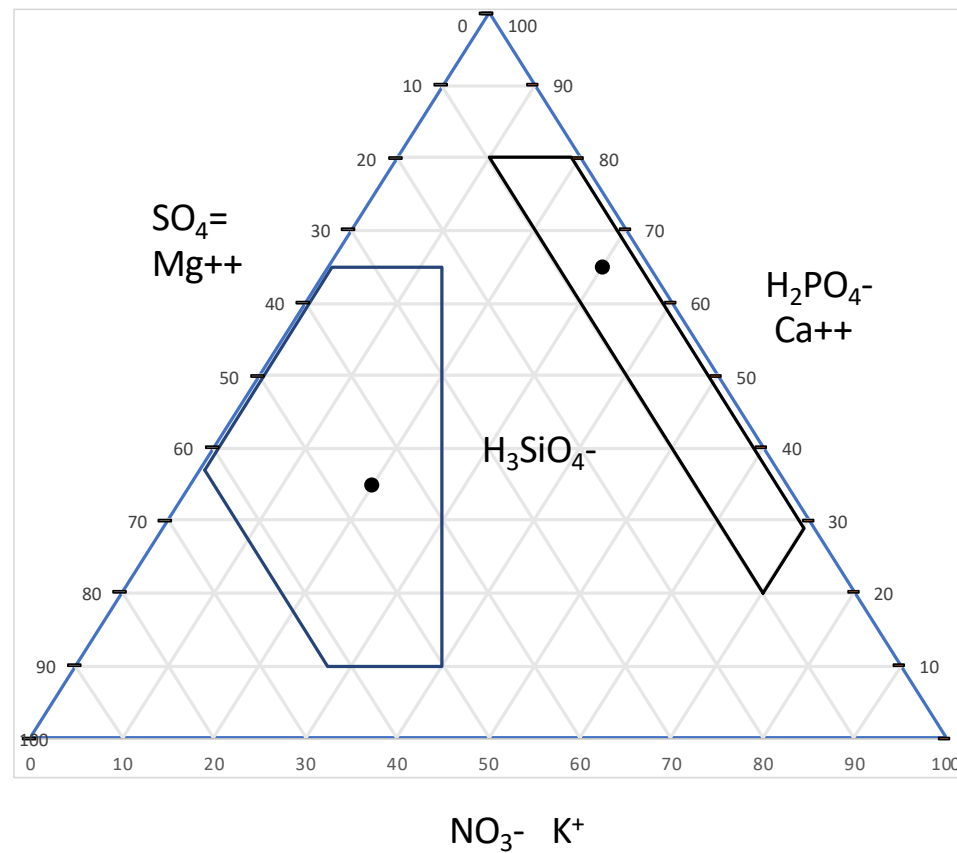
Según investigaciones realizadas las siguientes plagas son controladas por el Silicio.

CULTIVO	PLAGA	INSECTO
Arroz	Barrenillo de arroz	<i>Chilo suppressalis; Scirpophaga incertulas</i>
	Calandra de arroz	<i>Chlorops oryzae</i>
	Daños por saltamontes verde	<i>Nephotettix cincticeps</i>
	por saltamontes castaño	<i>Nilaparvata lugens</i>
	por saltamontes lomo blanco	<i>Sogetella frucifera</i>
	Tela de araña roja	<i>Tetranychus spp.</i>
	Ácaros	-
	Babosa gris de jardín	<i>Deroceras reticulatum</i>
Caña de Azúcar	Lepidóptero (Pyralidae)	<i>Chilo zacconius</i>
	Barrenillo del tallo	<i>Diatraea saccharalis</i>
Manzano	Barrenad africano	<i>Eldana saccharina</i>
	Escarabajo japonés	<i>Papilla japonica</i>
Uva	Crackling de la fruta	-
Sorgo	Maleza de la raíz	<i>Scrophulariaceae;</i>
	Parásito angiosperma	<i>Striga asiatica Kuntze</i>
Trigo	Escarabajo rojo de la harina	<i>Tribotium castaneum</i>
Maíz	Barrenillo	<i>Sesamia calamistis</i>
Césped de Zoysia	Gusanos	<i>Spodoptera depravata</i>
Ryegrass italiano	Barrenillo	<i>Oscinella Frut</i>

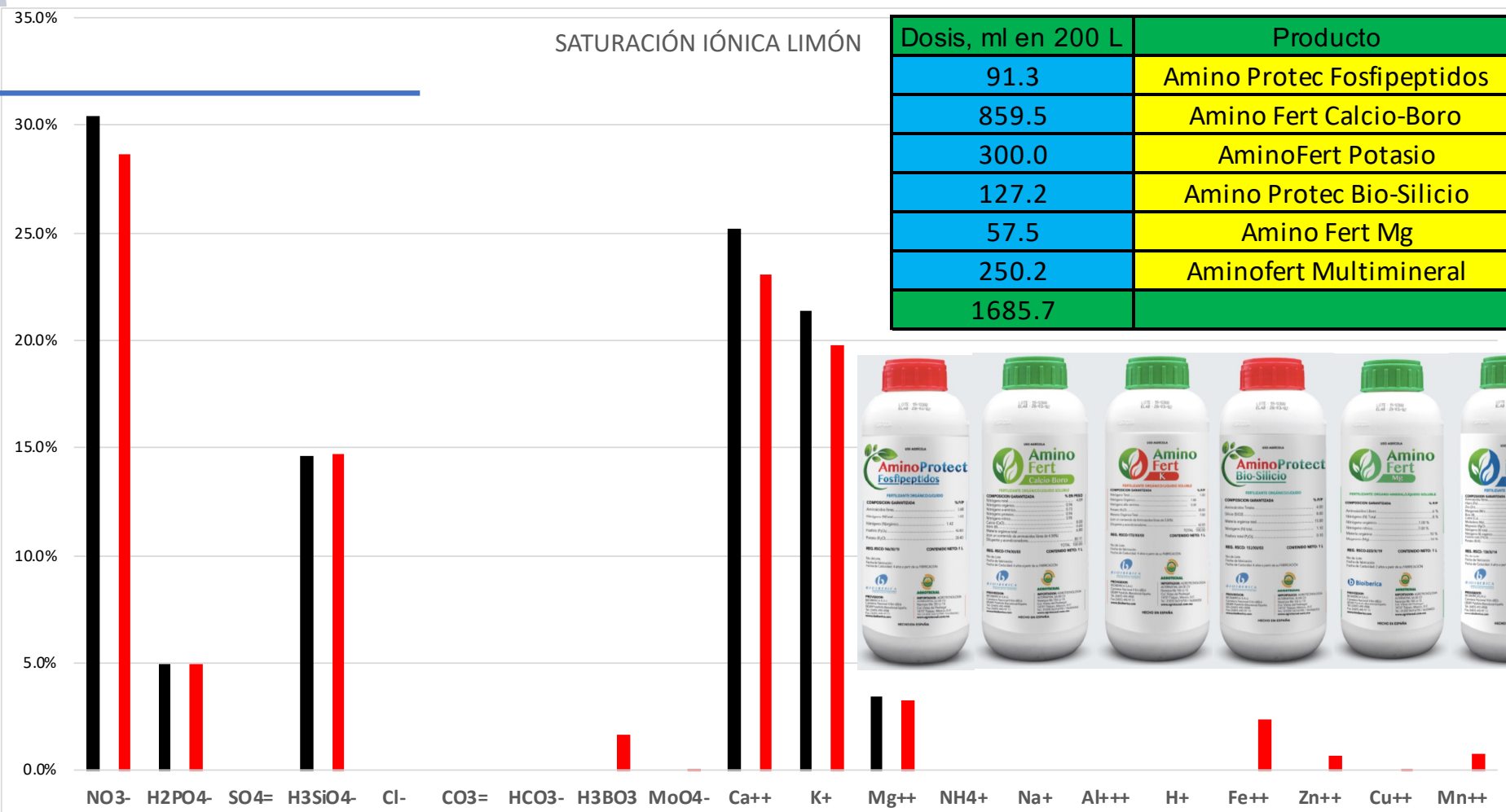
Según investigaciones realizadas las siguientes enfermedades son controladas por el Silicio.

CULTIVO	ENFERMEDAD	PATOGENO
Cebada	Ceniza	<i>Erysiphe graminis</i>
Trigo	Ceniza	<i>Septoria nodorum</i>
Tomate	Oidio Podredumbre de tallo	<i>Sphaerotheca fuliginea</i> <i>Fusarium oxysporum f. sp.</i>
Pepino	Enfermedad de cuello-raíz Enfermedad de cuello-raíz Podredumbre de tallo Podredumbre de tallo Podredumbre de tallo Podredumbre de tallo	<i>Pythium aphanidermatum</i> <i>Pythium ultimum</i> <i>Didymella bryoniae</i> <i>Botrytis cinerea</i> <i>Fusarium oxysporum f.sp.</i> <i>cucumerium</i>
Calabacín	Ceniza	<i>Erysiphe cichoracearum</i>
Arroz Salvaje	Hongo de la mancha marrón	<i>Bipolaris oryzae</i>
Arroz	Mancha de la hoja castaña Mancha castaña Decoloración de la cáscara Decoloración del grano Explosión de cuello y hoja Escaldadura de la hoja Quemadura de la vaina Quemadura de la vaina Putrefacción del tallo	<i>Helminthosporium oryzae</i> <i>Cochliobolus miyabeanus</i> <i>Bipolaris oryzae</i> <i>Bipolaris, Fusarium, Epicoccum, etc.</i> <i>Magnaporthe grisea, Pyricularia grisea y oryzae</i> <i>Gerlachia oryzae</i> <i>Thanatephorus cucumeris (Rhizoctonia solana)</i> <i>Corticium saskii (Shiraii)</i> <i>Magnaporthe salvanii (Sclerotium oryzae)</i>
Caña de Azúcar	Peca de la hoja Oxidación de la caña Mancha en anillo de la caña	<i>Desórden nutricional</i> <i>Puccinia melanocephala</i> <i>Leptosphaeria sacchari</i>
Uva	Ceniza	<i>Sphaerotheca fuliginea</i>
Guisante - Arveja	Mancha en hojas	<i>Mycosphaerella pinodes</i>
Césped San Agustín	Mancha de la hoja gris	<i>magnaporthe grisea</i>
Césped de Zoysia	Parche marrón	<i>Rhizoctonia solani</i>
Césped	Mancha del dólar	<i>Sclerotinia homoeocarpa</i>

Proporcionalidad de los elementos nutritivos



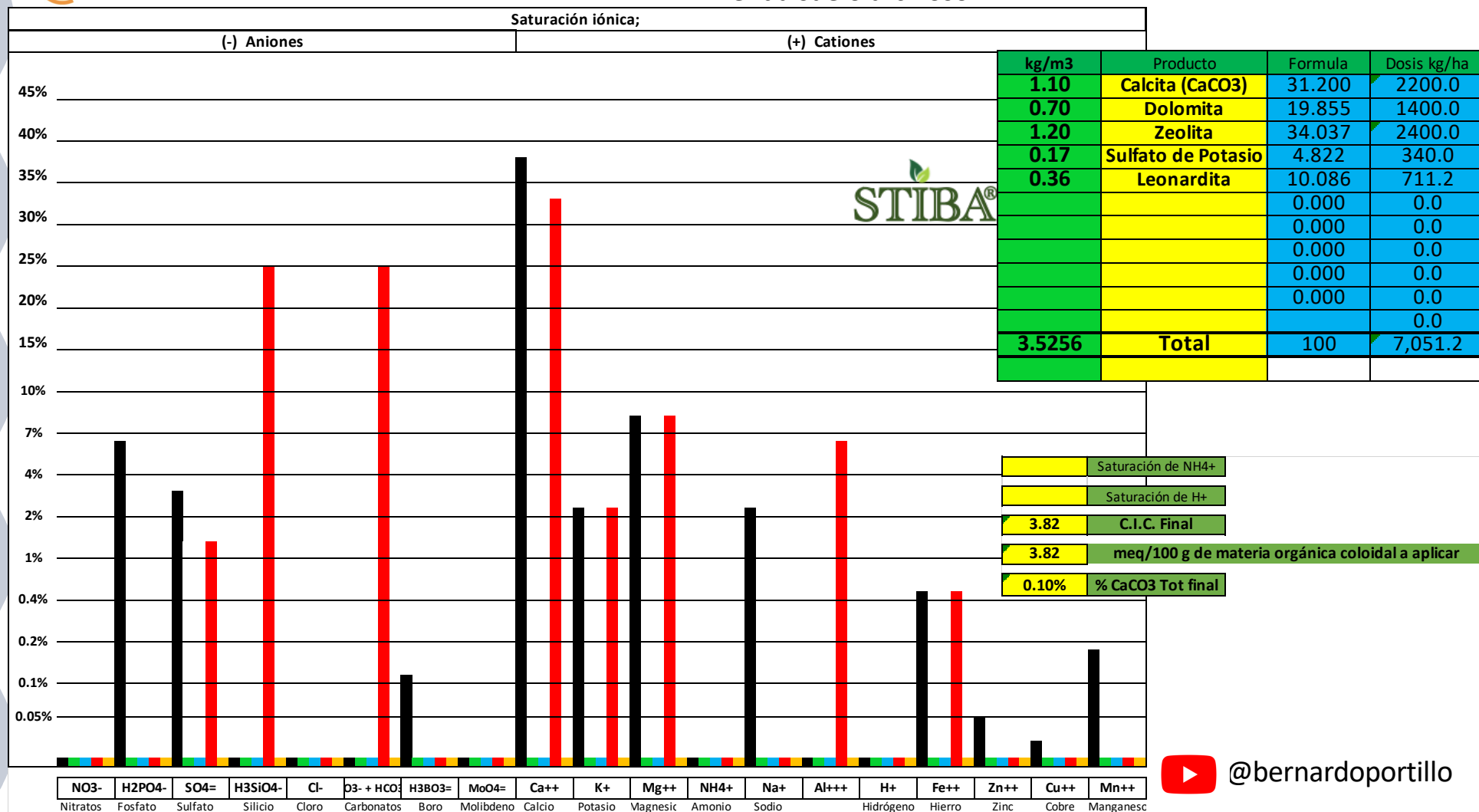
SATURACIÓN IÓNICA LIMÓN



Dosis, ml en 200 L	Producto
91.3	Amino Protec Fosfipeptidos
859.5	Amino Fert Calcio-Boro
300.0	AminoFert Potasio
127.2	Amino Protec Bio-Silicio
57.5	Amino Fert Mg
250.2	Aminofert Multimineral
1685.7	



Enmienda suelo arcilloso



GRACIAS

