

DATOS SOBRE LA ACCIÓN
DE
LAS SALES DE COBALTO Y VANADIO EN LOS VEGETALES

POR EL
DR ENRIQUE HERRERO DUCLOUX
Y MARÍA LUISA COBANERA

Pocos capítulos de la fisiología vegetal han sido tan estudiados como el que investiga el rol de las materias minerales en la vida de las plantas, su influencia en el desarrollo de éstas, las formas en que son asimiladas y las combinaciones que constituyen al almacenarse en los tejidos, entre los problemas que al químico fisiólogo le sugiere la observación de los fenómenos vitales del vegetal, el examen de la variadísima composición de las cenizas de especies de una misma familia y de órganos de una misma planta y el conocimiento más y más perfecto de las diastasas. Y á pesar de las investigaciones realizadas desde Wiegmann y Polstorff, Knop y Nobbe, hasta Ville, Demousy, Heinrich y Stoklasa, entre los experimentadores de todas las naciones que merecen citarse, puede decirse que no se han resuelto los problemas propuestos aunque se han acumulado preciosos datos que permitirán resolverlos.

Entre nosotros, este género de investigaciones ha merecido la atención de estudiosos que se hallan hoy en plena labor, poseyendo la bibliografía argentina tesis ¹, memorias ² y conferencias ³, que acreditan nuestra afir-

¹ FEDERICO GÁNDARA, *Contribución al estudio de una propiedad bioquímica de la plata coloidal de Bredig* (tesis del doctorado en química). Buenos Aires, 1908.

² HORACIO DAMIANOVICH, *Influencia de las soluciones coloidales de materias colorantes sobre la germinación* (memoria presentada al 1º Congreso científico panamericano). Santiago de Chile, 1910.

³ FEDERICO GÁNDARA, *El manganeso en la agricultura* (conferencia dada en la Liga Agraria). Buenos Aires, 1910.

mación y autorizan á creer que los estudios químicos aplicados á la biología vegetal han de adquirir muy pronto la importancia que ya tiene la química en sus aplicaciones á las ciencias agrícolas.

Los datos que consignamos en estas páginas corresponden á los primeros resultados de una serie de investigaciones que hemos emprendido, y que actualmente continuamos ¹ inspirados en la obra de los especialistas extranjeros citados y muy particularmente en los trabajos de Oscar Loew, cuya primera síntesis ² es sin duda el mejor estímulo para los que se inician en este género de estudios, por los problemas que plantea, las dudas que sugiere y los rumbos inexplorados que señala.

Nos propusimos estudiar la acción de las sales de cobalto, vanadio y urano en pequeñas cantidades, para establecer su valor como *excitantes* y después experimentar con dosis crecientes para conocer su acción sobre las plantas durante su desarrollo, su valor como elementos nutritivos y su acumulación en determinados órganos, colocándolas en condiciones de poder substituir á elementos de acción conocida y del mismo grupo natural.

Hemos elegido una especie vegetal conocida, vulgar si se quiere, la arveja (*Pisum sativum*), determinando la composición de las cenizas de la muestra empleada en las experiencias y algunos otros datos útiles para interpretar los resultados.

He aquí los datos de nuestras arvejas.

Datos generales

Peso medio del grano.....	0.1698
Volumen medio del grano.....	0.126 cm ³
Humedad á 100-105°	8.107 %
Cenizas	2.997 %

Composición de las cenizas

Ácido silíceo en SiO ₂	0.130
— sulfúrico en SO ₂	3.498
— clorhídrico en Cl ₃	7.898
— fosfórico en P ₂ O ₅	47.059

¹ La acción del fluor en distintas especies vegetales y en particular en la vid y su fruto, ha sido estudiada por mí en colaboración con mi aventajado discípulo Vicente Isnardi y será objeto de una memoria especial.

² OSCAR LOEW, *The physiological role of mineral nutrients*. Washington, 1899.

³ Este es el único dato en que se distinguen estas cenizas de las que considera Wolff en su obra *Aschen Analysen von land und forstwirthschaftlichen Producten, Fabrik-Abfällen und wildwachsenden Pflanzen*, 31. Berlín, 1880.

Oxido férrico en Fe_2O_3	1.750
Oxido cálcico en CaO	1.177
Oxido magnésico en MgO	5.820

El modo operatorio seguido en los ensayos se apartó en detalles solamente del indicado por Grandean ¹ y por Dehérain ² y los aparatos utilizados no necesitan ser descriptos por la claridad de las fotografías que

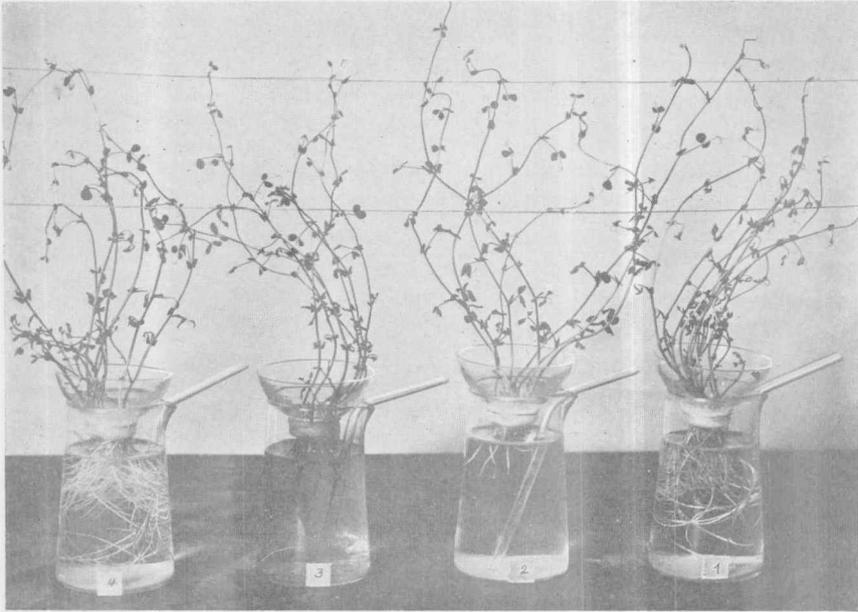


Fig. 1. — Cultivos de la primera serie

debemos á la gentileza del profesor Carlos Bruch. La composición de los líquidos se indica al tratar de cada una de las series, pero en todas ellas el ensayo tipo de comparación se hizo con una solución normal de Knop, constante en todas las experiencias.

Las arvejas se hacían germinar, hasta que la radícula alcanzaba algunos milímetros, en arena lavada y calcinada, humedecida; se colocaban después en los vasos de ensayo sobre algodón de vidrio y se medían las raíces y los tallos con intervalos de ocho días, renovándose los líquidos al mismo tiempo. Cada 24 horas se insuflaba aire en los líquidos de cul-

¹ A. GRANDEAU, *Chimie et physiologie appliquées à l'agriculture et à la sylviculture*. París, 1879.

² DEHÉRAIN, *Traité de chimie agricole*. París, 1902.

tivo durante algunos minutos y se observaba la reacción, manteniéndola muy ligeramente ácida durante todas las experiencias.

Terminados los ensayos se separaban las raíces y las hojas de las plantas formadas y los residuos de los granos; desecadas estas distintas partes á 105° C., hasta constancia de peso, se determinaba el valor de la materia seca, se calcinaba con precaución y por pesada del residuo, se conocía el total de materias minerales, obteniendo por diferencia las substancias orgánicas. En las cenizas se hicieron distintas determinaciones; unas destinadas á investigar la presencia de los metales empleados para los cultivos, no utilizando para ésto sino las hojas, y otras cuantitativas para estudiar las variaciones en la riqueza de ácido fosfórico y de óxido férrico, así como su diferente distribución en el vegetal formado.

Los cultivos se hicieron en laboratorios, donde no se realizaban manipulaciones químicas, excepto los correspondientes á la quinta serie con los resultados que más adelante explicaremos; y en todos los casos se tuvo especial cuidado de que los ensayos recibiesen por igual la luz difusa del sol.

PRIMERA SERIE

Los ensayos de esta serie se hicieron utilizando las soluciones siguientes:

1° Ensayo tipo:

Agua.....	1000 »
Ca (NO ₃) ₂	1 »
K ₂ HPO ₄	0.25
KNO ₃	0.25
MgSO ₄	0.25
FeSO ₄	0.05
MnSO ₄	0.05

2° Solución de cobalto : como el líquido anterior substituyendo la sal de hierro por 0,02 gramos de nitrato cobaltoso;

3° Solución de vanadio : como el líquido tipo, substituyendo el fosfato potásico por 0,05 gramos de vanadato sódico y 0,20 de cloruro potásico;

4° Solución de urano : como el líquido tipo, substituyendo el fosfato potásico por 0,10 gramos de nitrato de uranilo.

Las observaciones que se hicieron entre la fecha de la siembra (9, VI, 909) y el final de la séptima semana, permitieron constatar una turgencia manifiesta en las plantas de la solución de cobalto que contrastaba

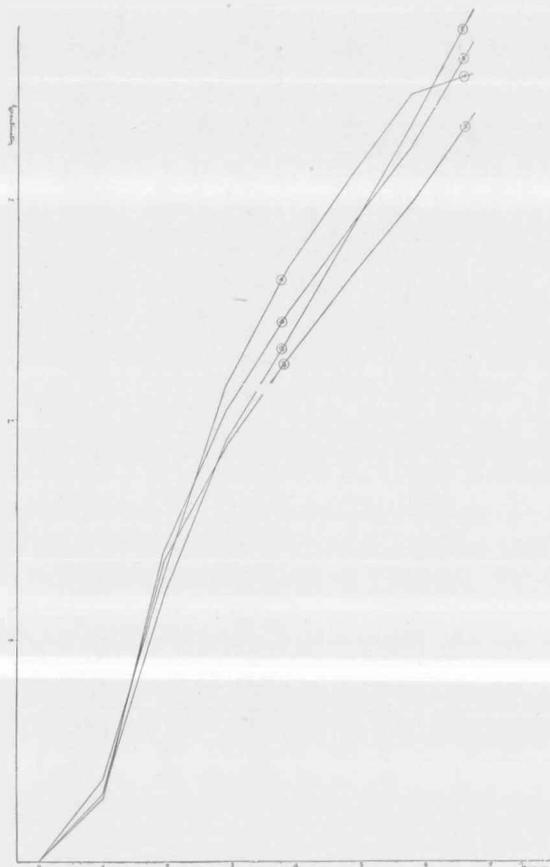


Fig. 2. — Primera serie : hojas



Fig. 3. — Primera serie : raíces

con el aspecto marchito de las plantas del líquido de vanadio; y en uno y otro caso, el desarrollo de las raíces fue escaso, adquiriendo mayor diámetro que en los otros dos ensayos, pero no presentando las raicillas abundantes de éstos, sino un cierto número de nudosidades ó raíces abor-

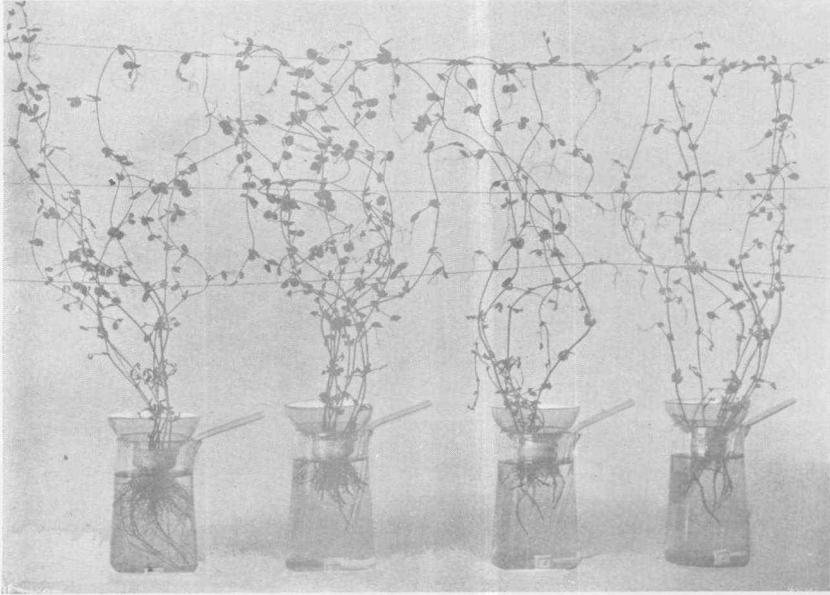


Fig. 4. — Cultivos de la segunda serie

tadas. Las raíces de las plantas en el líquido de urano adquirieron mayor desarrollo que en la solución tipo.

La presencia del cobalto y el urano no pudo constatarse con certeza, en las cenizas de las plantas formadas pero sí la del vanadio; las raíces del ensayo de cobalto dieron la reacción de esta base aunque no se hace constar en el cuadro de resultados, porque puede tratarse de materia adherida ó acumulada en los tejidos superficiales.

Los resultados han servido de punto de partida para los ensayos de las series siguientes.

RESULTADOS DE LA PRIMERA SERIE

Número	Plantas	Materia seca	Cenizas	Materia orgánica	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Elementos especiales	Observaciones
1	Raíces.....	0.1902	0.0660	0.1242	0.0105	—	—	Amarillentas
	Granos.....	0.0814	0.0117	0.0697	—	0.00059	—	
	Hojas.....	0.5132	0.0935	0.4197	0.0043	0.00058	—	
1	Plant. compl.	0.7848	0.1712	0.6136				
2	Raíces.....	0.0685	0.0105	0.0580	—	0.00031	—	Pardas
	Granos.....	0.1120	0.0105	0.1015	—	0.00047	—	
	Hojas.....	0.5735	0.0815	0.4920	0.0018	0.00048	Co (?)	
2	Plant. compl.	0.7540	0.1025	0.6515				Eran las más turgentes de los cuatro ensayos
3	Raíces.....	0.1134	0.0578	0.0556	0.0041	—	—	Pardo amarillentas
	Granos.....	0.0793	0.0043	0.0750	0.00056	—	—	
	Hojas.....	0.4640	0.0635	0.4005	0.00266	—	vestigios	
3	Plant. compl.	0.6567	0.1256	0.5311				Las inferiores se marchitaban en las últimas semanas
4	Raíces.....	0.1791	0.0222	0.1569	0.0064	—	—	Blancas
	Granos.....	0.0653	0.0093	0.0560	0.00152	—	—	
	Hojas.....	0.5440	0.1025	0.4415	—	—	U (?)	
4	Plant. compl.	0.7884	0.1340	0.6544				

SEGUNDA SERIE

Corresponden los ensayos de esta serie á soluciones de nitrato cobaltoso en proporciones crecientes, á partir de la dosis empleada en la solución segunda de la primera serie, para conocer su valor como excitante. El líquido tipo era idéntico y en las demás la substitución de la sal de hierro se hizo así :

	Gramos por mil
Líquido 2. Co (NO ₃) ₂	0.025
Líquido 3. Co (NO ₃) ₂	0.050
Líquido 4. Co (NO ₃) ₂	0.075

Los cultivos duraron seis semanas á contar de la fecha de la siembra en los líquidos (12, VIII, 909), notándose los mismos caracteres apuntados en el 2º líquido de la primera serie, la turgencia de los órganos aéreos

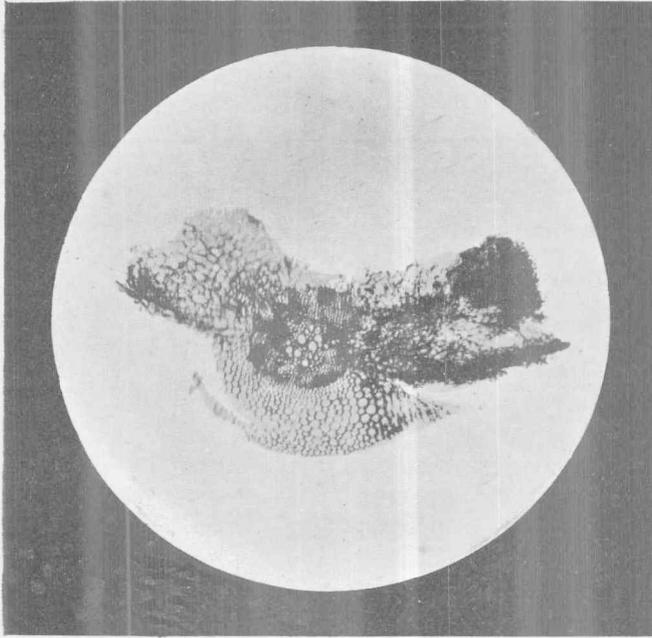


Fig. 5. -- Corte transversal de una raíz

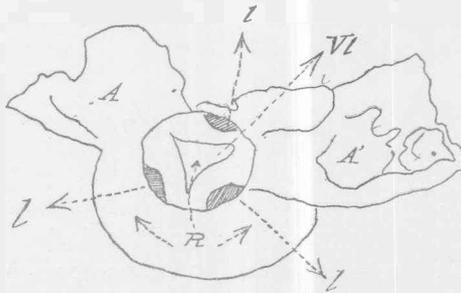


Fig. 5 bis. — Raíz número 1. Corte transversal, pasando por las dos raíces secundarias laterales AA': R, raíz principal; las raíces secundarias están en vías de atrofiarse por completo y las zonas oscuras presentan células disgregadas; el crecimiento de estas raíces se ha detenido; *LL*, haces liberianos normales; *VL*, haces de vasos leñosos.

y las formas curiosas de las raíces, así como su coloración especial; el desarrollo normal de las ramas y hojas contrastaba con el crecimiento anormal de las raíces y la formación de las nudosidades que recordaban las que presentan las raíces de leguminosas, nos indujeron á estudiar la estructura interna de dichas nudosidades. La colaboración eficaz del profesor Augusto C. Scala nos permitió constatar que no se trataba sino de

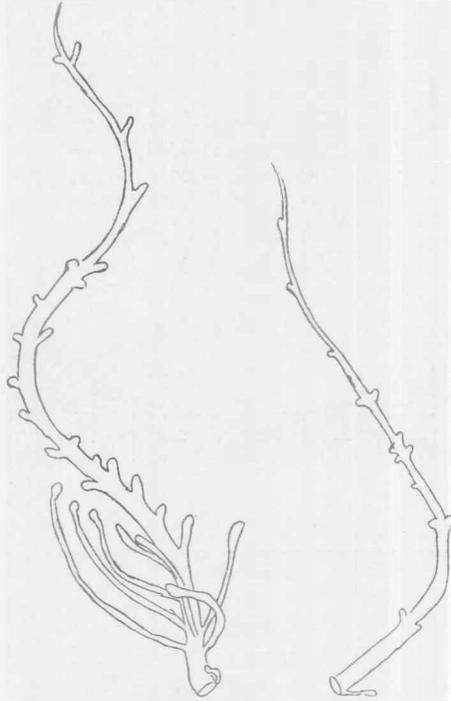


Fig. 6. — Raíces de la segunda serie

una atrofia gradual de las raíces secundarias bajo la acción del cobalto; las figuras bastan para dar una idea exacta del fenómeno observado.

La falta de sales de hierro en el líquido no produjo efecto alguno en las hojas, habiéndose repartido la reserva de los granos; y no puede decirse con seguridad si hubo substitución del hierro por el cobalto, aunque la presencia de este último pudo comprobarse sin dificultad en los dos últimos ensayos y con carácter dudoso en el segundo.

RESULTADOS DE LA SEGUNDA SERIE

Número	Plantas	Materia seca	Cenizas	Materia orgánica	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Elementos especiales	Observaciones
1	Raíces.....	0.1690	0.0540	0.1150	0.0082	—	—	Amarillentas
	Granos.....	0.0705	0.0090	0.0615	0.0079	—	—	
	Hojas.....	0.5275	0.1007	0.4268	0.0092	—	—	
1	Plant. compl.	0.7670	0.1637	0.6033				
2	Raíces.....	0.1373	0.0361	0.1012	—	0.0008	—	Pardas
	Granos.....	0.1185	0.0117	0.1068	—	0.00030	—	
	Hojas.....	0.7865	0.1313	0.6552	—	0.00162	Co	
2	Plant. compl.	1.0423	0.1791	0.8632				
3	Raíces.....	0.0905	0.0189	0.0716	—	0.0005	—	Pardas
	Granos.....	0.1066	0.0069	0.0997	—	0.00041	—	
	Hojas.....	0.6585	0.1180	0.5405	—	0.00155	Co	
3	Plant. compl.	0.8556	0.1438	0.7118				
4	Raíces.....	0.0795	0.0124	0.0671	—	0.0005	—	Pardo oscuras
	Granos.....	—	—	—	—	—	—	
	Hojas.....	0.6540	0.0950	0.5590	—	0.00160	Co	
4	Plant. compl.	0.7335	0.1074	0.6261				

TERCERA SERIE

En estos ensayos, los líquidos contenían nitrato cobaltoso en mayores proporciones, substituyendo al sulfato ferroso, excepto en el líquido 1 ó solución tipo y en el líquido 5 que contenía vanadato sódico como explicaremos al tratar de la siguiente serie. Las soluciones de nitrato cobaltoso contenían :

	Gramos por mil
Líquido 2. Co (NO ₃) ₂	0.100
Líquido 3. Co (NO ₃) ₂	0.150
Líquido 4. Co (NO ₃) ₂	0.200

durando las experiencias cuatro semanas á partir de la siembra en los líquidos (13, X, 909).

Los resultados pueden apreciarse por la fotografía : la acción del cobalto es evidentemente nociva, dejando de manifestarse los efectos que



Fig. 7. — Segunda serie : hojas

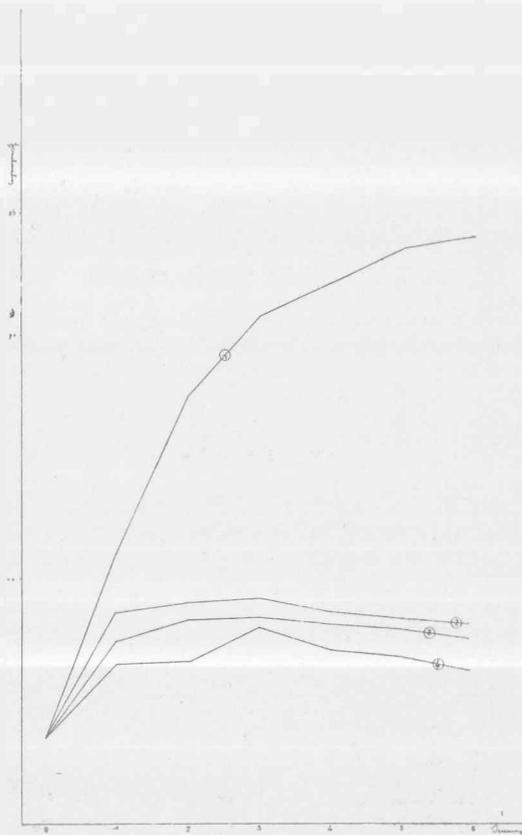


Fig. 8. — Segunda serie : raíces

sobre la turgencia de los órganos aéreos se había notado antes ; las raíces mostraban en los puntos de nacimiento de las raicillas, nudosidades exa-

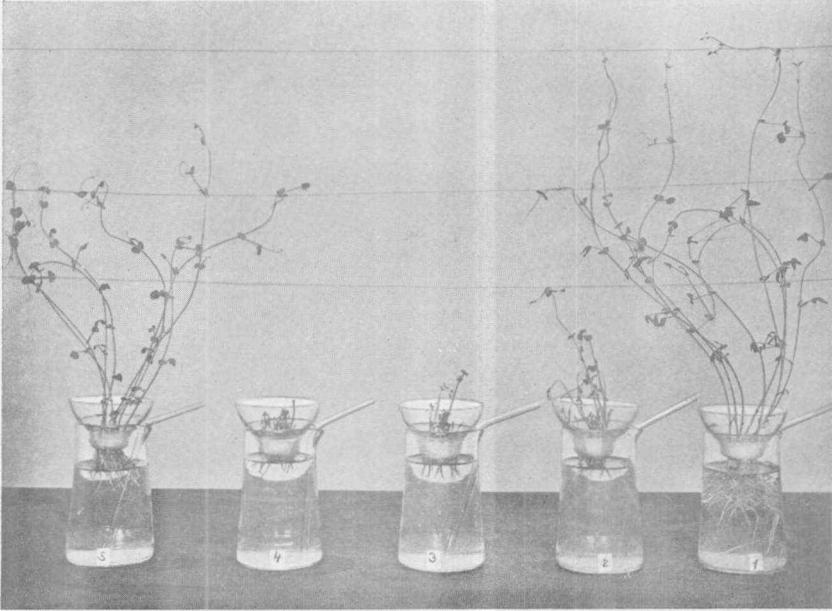


Fig. 9. — Cultivos de la tercera serie

geradas y á partir de la segunda semana casi podría decirse que las raíces principales *decrecieron* en lugar de aumentar en longitud.

RESULTADOS DE LA TERCERA SERIE

Número	Plantas	Materia seca	Cenizas	Materia orgánica	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Elementos especiales	Observaciones
1	Raíces.....	0.1616	0.0516	0.1130	0.0095	—	—	
	Granos.....	0.1497	0.0108	0.1389	0.0056	—	—	
	Hojas.....	0.5038	0.0851	0.4187	0.0110	—	—	
1	Plant. compl.	0.8181	0.1475	0.6706				
2	Raíces.....	0.0740	0.0069	0.0671	—	0.0005	—	
	Granos.....	0.3344	0.0176	0.3168	—	0.00055	—	
	Hojas.....	0.3034	0.0214	0.2820	—	0.00070	Co	
2	Plant. compl.	0.7118	0.0459	0.6659				
3	Raíces.....	0.0535	0.0052	0.0483	—	0.0008	—	
	Granos.....	0.3548	0.0191	0.3357	—	0.00050	—	
	Hojas.....	0.2484	0.0180	0.2304	—	0.00049	Co	Marchitas parcialmente en la tercera semana
3	Plant. compl.	0.6567	0.0423	0.6144				
4	Raíces.....	0.0528	0.0048	0.0480	—	0.0009	—	
	Granos.....	0.3807	0.0223	0.3584	—	0.00065	—	
	Hojas.....	0.2373	0.0171	0.2202	—	0.00034	Co	Algunas plantas murieron en la tercera semana
4	Plant. compl.	0.6708	0.0442	0.6266				
5	Raíces.....	0.1058	0.0130	0.0928	0.0071	—	—	
	Granos.....	0.1618	0.0105	0.1513	0.0010	—	—	
	Hojas.....	0.4298	0.0336	0.3962	0.0020	—	—	No se comprobó el vanadio en las hojas
5	Plant. compl.	0.6974	0.0571	0.6403				

CUARTA SERIE

Se dedicaron estos ensayos á soluciones de vanadato sódico, como se había hecho en el líquido 3 de la serie primera y en el líquido 5 de la anterior, es decir, substituyendo el fosfato bipotásico de la solución tipo — que se conservó invariable — por vanadato sódico así :

	Gramos por mil
Líquido 5 (3ª serie). Na ₂ HVO ₄	0.080
Líquido 2 (4ª serie). Na ₂ HVO ₄	0.120
Líquido 3 (4ª serie). Na ₂ HVO ₄	0.170
Líquido 4 (4ª serie). Na ₂ HVO ₄	0.240



Fig. 10. — Tercera serie : hojas

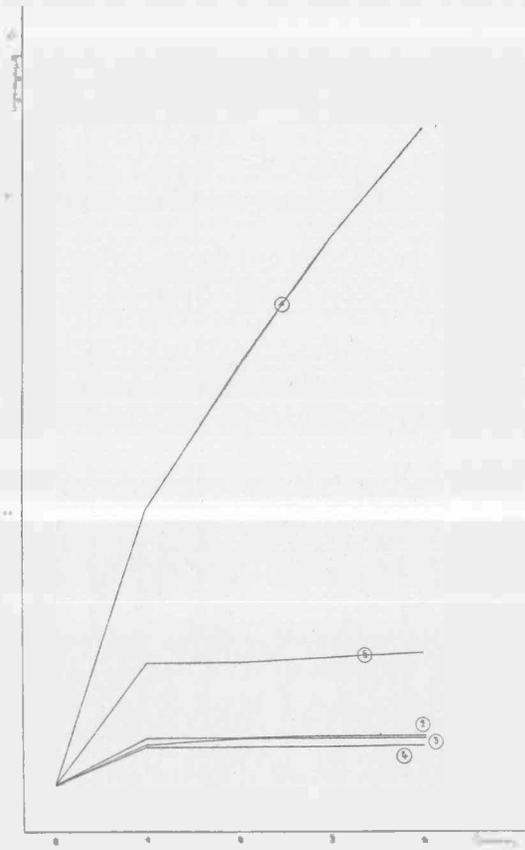


Fig. 11. — Tercera serie : raíces

y agregando cloruro potásico en todas ellas, en la proporción de 0,10 por litro.

Los efectos observados en la primera serie, aquí se exageraron, presentando las raíces un aspecto comparable á las de soluciones cobaltosas y notándose en los órganos aéreos menos vigor, aunque el crecimiento no se aparte mucho del ensayo tipo, comprobándose lo observado en otras condiciones por Suzuki y Aso ¹ en lo que á la toxicidad de los compuestos vanádicos se refiere.

La determinación del vanadio cualitativamente se hizo sin dificultad en las cenizas de las hojas.

Las experiencias duraron en esta serie cuatro semanas á partir del día de la siembra en los líquidos (23, IX, 910).

RESULTADOS DE LA CUARTA SERIE

Número	Plantas	Materia seca	Cenizas	Materia orgánica	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Elementos especiales	Observaciones
1	Raíces.....	0.1617	0.0483	0.1134	—	—	—	
	Granos.....	0.1564	0.0107	0.1457	—	—	—	
	Hojas.....	0.5150	0.0830	0.4320	0.0035	—	—	
1	Plant. compl.	0.8331	0.1420	0.6911				
2	Raíces.....	0.1152	0.0199	0.0953	—	—	—	
	Granos.....	0.1991	0.0123	0.1868	—	—	—	
	Hojas.....	0.4659	0.0427	0.4232	0.0020	—	vanadio	Desde la segunda semana las hojas inferiores se marchitaron
2	Plant. compl.	0.7802	0.0749	0.7053				
3	Raíces.....	0.1060	0.0168	0.0892	—	—	—	
	Granos.....	0.1921	0.0128	0.1793	—	—	—	
	Hojas.....	0.4104	0.0340	0.3764	0.0025	—	vanadio	El efecto anotado era más visible
3	Plant. compl.	0.7085	0.0636	0.6449				
4	Raíces.....	0.1048	0.0135	0.0913	—	—	—	
	Granos.....	0.2614	0.0187	0.2427	—	—	—	
	Hojas.....	0.4067	0.0320	0.3747	0.0026	—	vanadio	Algunas plantas parecían muertas al fin de la tercera semana
4	Plant. compl.	0.7729	0.0642	0.7087				

¹ SUZUKI y ASO, *L'action de quelques substances chimiques sur la végétation, Nouveaux Remèdes*, número 22. París, 1903.



Fig. 12. — Cuarta serie : hojas

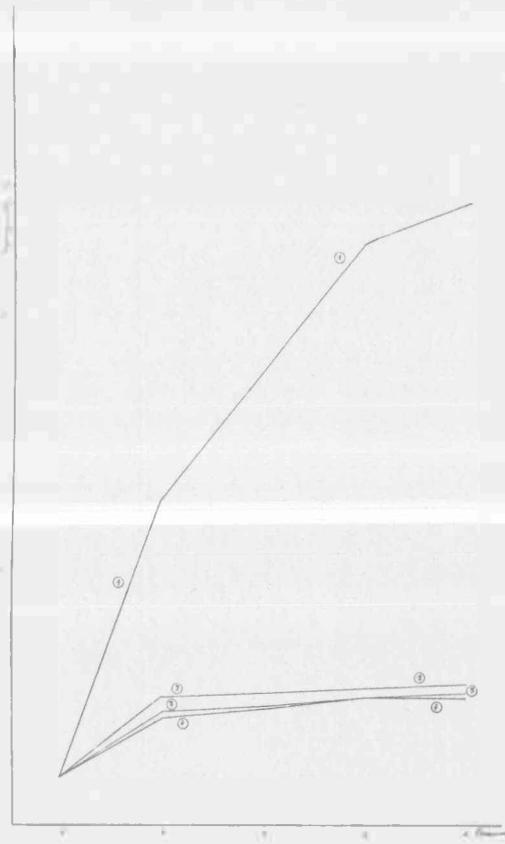


Fig. 13. — Cuarta serie : raices

QUINTA SERIE

No hacemos constar aquí los resultados de estos cultivos repetidos dos veces, sino con el propósito de presentar una comprobación del efecto nocivo de los gases de laboratorio sobre los vegetales jóvenes.

Por hallarse libre el laboratorio de química analítica del Museo — se hicieron las siembras el 12 de noviembre de 1910 y el 23 de enero de 1911 — realizamos en él estas experiencias con soluciones de nitrato de uranilo en proporciones mayores que las empleadas en el líquido 4 de la primera serie. Pero bien pronto pudimos observar, no sólo que los efectos eran contrarios á los anotados en aquella ocasión, sino que también, el líquido tipo proporcionaba plantas raquíticas, debiendo suspender el trabajo á la tercera semana, pues el estado de las hojas no hubiese permitido seguir adelante.

El aire ambiente impurificado por substancias diversas, algunas en proporciones infinitesimales, se mostró contrario al desarrollo de las plantas jóvenes, comprobándose en este caso lo observado por diversos autores que han experimentado en la atmósfera de los laboratorios químicos, debiendo atribuírse esta acción á los productos de la combustión del gas de alumbrado ó á vestigios de este mismo gas ¹ y quizá al óxido de carbono como resultaría de los recientes estudios del profesor Molisch de Praga ².

¹ *Revue générale des sciences*, XXII, 144. París, 1911.

² *Anzeiger der k. Akad. der Wiss. in Wien*, XLVIII, número 11, página 20. Viena, 1911.

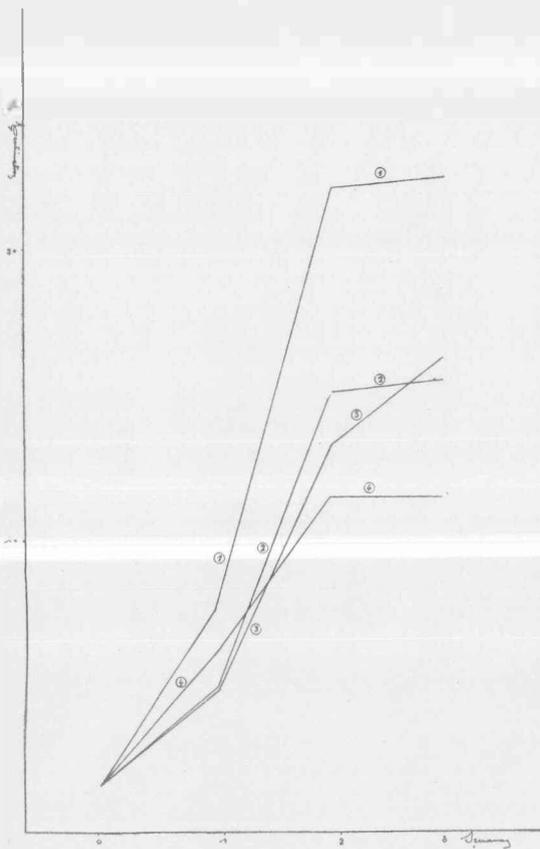


Fig. 14. - Quinta serie : hojas

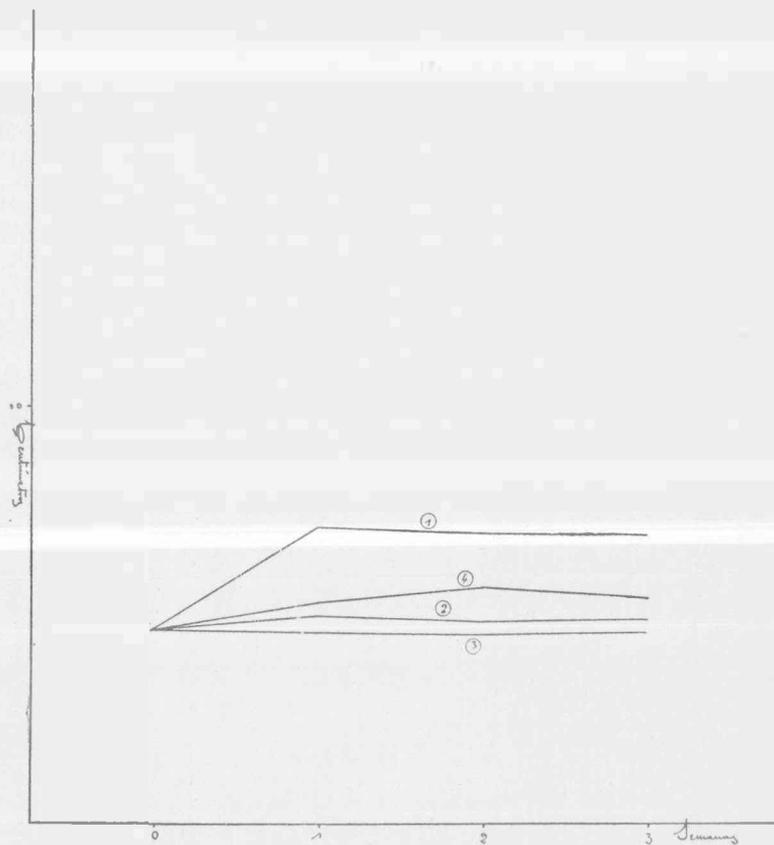


Fig. 15. - Quinta serie : raíces

RESULTADOS DE LA QUINTA SERIE

Número	Plantas	Materia seca	Cenizas	Materia orgánica	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Elementos especiales	Observaciones
1	Raíces.....	0.1970	0.0385	0.1585	—	—	—	
	Granos.....	0.0705	0.0072	0.0633	—	—	—	
	Hojas.....	0.4010	0.0717	0.3293	—	—	—	
1	Plant. compl.	0.6685	0.1174	0.5511				
2	Raíces.....	0.0980	0.0147	0.0833	—	—	—	Blancas
	Granos.....	0.1030	0.0166	0.0864	—	—	—	
	Hojas.....	0.3532	0.0310	0.3222	—	—	U ?	
2	Plant. compl.	0.5542	0.0623	0.4919				
3	Raíces.....	0.0918	0.0158	0.0760	—	—	—	Amarillentas
	Granos.....	0.1455	0.0185	0.1270	—	—	—	
	Hojas.....	0.3234	0.0243	0.2991	—	—	U ?	
3	Plant. compl.	0.5607	0.0586	0.5021				
4	Raíces.....	0.0785	0.0140	0.0645	—	—	—	Amarillas
	Granos.....	0.2140	0.0260	0.1880	—	—	—	
	Hojas.....	0.3156	0.0217	0.2939	—	—	U	
4	Plant. compl.	0.6081	0.0617	0.5464				

Museo de La Plata, 1911.