

ACCIÓN COMPARADA DEL SULFATO
DE MANGANESO,
DEL BIOXIDO DE MANGANESO
Y DEL BIÓXIDO DE BARIO
SOBRE LA VEGETACIÓN

por

J. SANCHO ADELLAC

Sabido es el papel interesantísimo que desempeñan las diastasas en los fenómenos de nutrición en general. Limitándonos por ahora a las diastasas oxidantes — oxidasas — estudiadas primeramente por Bertrand, recordemos algo de las experiencias clásicas realizadas por dicho investigador.

El análisis de la *lacasa* dió manganeso en sus cenizas. La presencia de este metal parece tener gran importancia en la constitución de esta oxidasa. Según Bertrand, su actividad oxidante es proporcional a su riqueza en manganeso. Para demostrar esto, dicho investigador aísla, de plantas variadas, diferentes especies de lacasa y prepara así algunos productos más o menos pobres en manganeso y en general poco activos. Luego les añade una pequeña cantidad de sal manganesosa y comprueba que se exalta su actividad.

De este hecho parte Bertrand para realizar algunas experiencias, empleando por primera vez el manganeso como abono. Lógicamente pensando, si la actividad oxidante de las oxidasas es proporcional al manganeso que contienen, este metal debe de acrecentar la intensidad oxidante de las oxidasas vegetales y provocar, por tanto, en éstas una intensa vitalidad. Empleando el sulfato de

manganeso, en dosis de 50 kilos y más por hectárea, sobre trigo, obtuvo regulares resultados, no comprobándose en todas las experiencias su acción benéfica.

Numerosas experiencias que se han realizado después en todos los países, incluso en el nuestro, empleando diferentes compuestos de manganeso como abono, han demostrado que, si bien en muchos casos su acción es favorable, en cambio en otros sólo se han obtenido pequeños excedentes de cosecha. Y, sin embargo, no puede dudarse de la gran importancia del descubrimiento de Bertrand, que, juntamente con la acción catalítica de este metal, demostrada por el profesor Rocasolano (1) en la fijación del nitrógeno atmosférico por los microbios del suelo, debían de hacer del manganeso un agente de primer orden como elemento fertilizante de las tierras.

El no realizar esta misión tal y como por sus propiedades debía realizarla, no puede deberse a otra cosa que a existir ya en cantidad suficiente en las tierras sobre las cuales se ha ensayado como abono, y claro es que el manganeso añadido no ha influido, o lo ha hecho muy débilmente. Este metal está extraordinariamente repartido en la naturaleza, y muchos de los suelos cultivados lo contienen en bastante proporción para no tener sobre ellos una acción enérgica las pequeñas dosis que se añadan. Según el Sr. de Gregorio Rocasolano, la cantidad que deben contener las tierras de manganeso-ion, para conseguir la máxima fijación del nitrógeno del aire, es de 0'006 gr. por 100 (2).

(1) «Boletín de la R. S. española de H. Natural.» 4.ª *Comunicación*. Mayo, 1915. Por Antonio de Gregorio Rocasolano, Catedrático de Química de la Universidad de Zaragoza.

(2) «Revista de la R. A. de Ciencias, S. F. y N. de Madrid.» Abril, 1916. *El manganeso, como catalizador de las reacciones bioquímicas, por las cuales, el nitrógeno atmosférico, por vía bacteriana es asimilado por las plantas*, por Antonio de Gregorio Rocasolano, Catedrático de la Universidad de Zaragoza.

Entre los compuestos variados de manganeso que se han ensayado como abono parece que el que ha dado mejores resultados es el bióxido. El profesor Giglioli, en Italia, después de múltiples experiencias en este sentido, recomienda el empleo del citado bióxido en dosis de 300 a 400 kilos por hectárea, indicando que se entierre bastante profundamente en el terreno. En la Escuela de Agricultura de la Universidad de Tokio se aplica también con buen éxito este compuesto desde hace bastantes años. Y los trabajos realizados en nuestra patria sobre el mismo asunto han traído como consecuencia que se vulgarice el empleo del bióxido de manganeso en los abonos compuestos, siendo ya varios los fabricantes que lo introducen en sus fórmulas y lo expenden a los labradores.

La utilización del bióxido de manganeso, como abono manganesífero, ha desterrado, pues, en la práctica agrícola a todos los demás compuestos del mismo metal. Este es el hecho.

Tratando de buscar una interpretación científica a este hecho, nos encontramos con que los trabajos que hemos consultado sobre la materia atribuyen la acción bienhechora del bióxido a ser, además, un compuesto oxidante que activa y favorece en los suelos el desarrollo de las bacterias nitrificantes.

Esta explicación parece lógica, pero, a nuestro parecer, incompleta. Desde luego la acción del oxígeno que el bióxido de manganeso cede al suelo al reaccionar con los materiales que en él se encuentran, es una acción mucho más amplia. Basta tener en cuenta que el *Azotobacter Croocum* y el *Clostridium Pasteurianum*, los dos grandes fijadores de nitrógeno de los suelos, el primero es aerobio y el segundo, según los excelentes trabajos del citado profesor Rocasolano, vive perfectamente en vida aerobia (1).

(1) Boletín citado. 3.ª Comunicación. Abril, 1915.

Luego el oxígeno es, pues, un gran multiplicador de estos microbios, que, a fin de cuentas, no son unos simples transformadores de materia como los nitrificantes, sino unos asimiladores, es decir, microbios que aportan al suelo el elemento de más valor: el nitrógeno.

De todas estas consideraciones nació la idea de realizar un pequeño trabajo en que se comparara la acción del sulfato de manganeso, del bióxido de manganeso y del bióxido de bario sobre plantas no leguminosas, por sospechar que el oxígeno desempeña un papel mucho más interesante y más eficaz del que se le ha atribuído, siendo a dicho elemento simple y no al manganeso a quien se debe el éxito del empleo de su bióxido como abono.

Tratamos, pues, de buscar una comprobación experimental a esta manera de pensar, y para ello hemos realizado los dos siguientes ensayos:

1.º Va encaminado de un modo sencillamente práctico, a investigar la acción del manganeso bajo la forma de sulfato, la del bióxido del mismo metal, y la del bióxido de bario, sobre una planta no leguminosa, es decir, que no fije el nitrógeno libre del aire. La planta elegida fué el trigo.

El ensayo se ha hecho comparativamente empleando, como se verá en los cuadros sucesivos, pesos iguales de los tres compuestos antedichos.

En el primer ensayo se trata, pues, de dar un primer avance para dilucidar la cuestión, observando la acción del manganeso por una parte, la de este metal unido al oxígeno por otra, viendo en su manera de obrar lo que es debido al metal y lo que es debido al oxígeno, para lo cual lo comparamos con otro bióxido: el de bario.

2.º Tratamos de comprobar el anterior, estudiando la acción paralela de los dos bióxidos mencionados sobre dos plantas: trigo y cebada.

MANERA DE DISPONER EL PRIMER ENSAYO

La experiencia fué dispuesta de modo que desapareciera en lo posible toda causa de error, y los datos hallados al terminarla, se debieran exclusivamente a la influencia de los abonos empleados.

100 macetas, conteniendo cada una 12 kilogramos de buena tierra de jardín, se dividieron en 10 lotes de a 10 macetas cada uno, destinándose los tres primeros para el sulfato de manganeso, los tres segundos para el bióxido de este metal, los tres terceros para el bióxido de bario, y el último para testigo.

Las cantidades de abono que se adicionaron son las que se indican en los cuadros que siguen, llevando cada lote de diez el mismo abono y en la misma cantidad en cada maceta. De este modo se obtiene luego, al pesar la cosecha, un número medio de diez, y procediendo de este modo se elimina casi por completo la principal causa de error que es la diferente robustez de los granos, a pesar de todo el cuidado que se ponga en su selección.

Los abonos se mezclaron perfectamente con la tierra hasta una profundidad de ocho o nueve centímetros.

Un grano de trigo candeal de tercera selección, es decir, un buen trigo de sementera, fué sembrado en cada maceta, teniendo cuidado de elegirlos de tal modo que fueran lo más iguales posible. Hecha la siembra se dió un riego, y desde este momento hasta la recolección todas las plantas fueron tratadas de igual manera. Se las dió igual número de riegos, procurando echar la misma cantidad de agua sobre cada maceta, y las cien estuvieron expuestas con la misma orientación, y recibieron idéntica cantidad de luz y calor; todas las condiciones de vida de nuestras plantas fueron, pues, las mismas, variando únicamente el abono y la dosis en que se aplicó.

Se hizo la sementera el día 18 de Marzo, y se recogió la cosecha verde setenta y cinco días después. Las plantas fueron desecadas al sol y pesadas.

Obtuvimos los siguientes

RESULTADOS

Lote testigo

N.º DE ORDEN	PESO de la planta corres- pondiente
91	6,9
92	6,5
93	5,1
94	3,5
95	4,7
96	6,1
97	7,9
98	3,2
99	2,7
100	1,1

SULFATO DE MANGANESO

0,12 gr. por maceta		0,24 gr. por maceta		0,48 gr. por maceta	
N.º DE ORDEN	PESO de la planta seca correspondiente	N.º DE ORDEN	PESO de la planta correspondiente	N.º DE ORDEN	PESO de la planta correspondiente
1	2,9	11	5,3	21	13,3
2	2,9	12	4,6	22	9,5
3	6,3	13	3,9	23	4,3
4	1,2	14	6,1	24	2,2
5	2,7	15	7	25	2,7
6	2,8	16	4,2	26	5,9
7	1,7	17	6,5	27	4,7
8	2,8	18	4,7	28	5,3
9	1,1	19	2,6	29	2,5
10	0,7	20	4,8	30	1,6

BIÓXIDO DE MANGANESO

0,12 gr. por maceta		0,24 gr. por maceta		0,48 gr. por maceta	
N.º DE ORDEN	PESO de la planta correspondiente	N.º DE ORDEN	PESO de la planta correspondiente	N.º DE ORDEN	PESO de la planta correspondiente
31	9	41	6,9	51	7
32	9,6	42	4,8	52	6,5
33	8,7	43	9,4	53	7,3
34	6,2	44	4,9	54	5,4
35	6	45	9,8	55	8,4
36	4,8	46	9	56	11,5
37	4,7	47	5,5	57	6,3
38	3,2	48	3,1	58	6,7
39	2,2	49	2,1	59	5
40	10,4	50	3,6	60	3,1

BIÓXIDO DE BARIO

0,12 gr. por maceta		0,24 gr. por maceta		0,48 gr. por maceta	
N.º DE ORDEN	PESO de la planta correspondiente	N.º DE ORDEN	PESO de la planta correspondiente	N.º DE ORDEN	PESO de la planta correspondiente
61	9,1	71	5,2	81	6,4
62	8,4	72	6,7	82	7,7
63	6,4	73	5,7	83	6,6
64	6,2	74	5,5	84	5
65	5,9	75	5,4	85	5,7
66	5,2	76	3,9	86	4,7
67	5,7	77	2,5	87	4,4
68	4,1	78	6,1	88	5,2
69	3,2	79	6,5	89	3,8
70	2,6	80	9,5	90	2

PROMEDIOS

	Abono		Plantas		Excedente por 100
	por maceta gramos	por hectárea kilogramos	peso total gramos	peso medio gramos	
1.º Lote	0,12	20	25,1	2,51	—90
2.º	0,24	40	49,7	4,97	4
3.º	0,48	80	52	5,2	9
4.º	0,12	20	64,8	6,48	35
5.º	0,24	40	59,1	5,91	23
6.º	0,48	80	67,2	6,72	40
7.º	0,12	20	56,8	5,68	19
8.º	0,24	40	57	5,7	19
9.º	0,48	80	51,5	5,15	7
10.º Testigo	0,00	00	47,7	4,77	00

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Observando por el momento aisladamente la acción de nuestros tres compuestos ensayados en comparación con el lote testigo, vemos, desde luego, que el sulfato de manganeso ha producido en sus tres lotes resultados muy distintos. El primero ha debido sufrir, indudablemente, alguna acción desfavorable desconocida, o simplemente inadvertida por nosotros, pues no puede explicarse de otro modo — dada las condiciones en que se planteó la experiencia — esa exigua cosecha. Los otros dos lotes destinados al mismo cuerpo, dan resultados favorables aunque en pequeña proporción. Claro es que las dosis correspondientes, 40 y 80 kilogramos por hectárea, no parecen a primera vista muy elevadas, pero teniendo en cuenta la acción dicha del manganeso — catalítica y excitadora de las oxidadasas — son más que suficientes para el ensayo.

Dejando, pues, a un lado la acción del sulfato de manganeso en el primer lote, por tener la seguridad de que algo imprevisto ha sido la causa originaria de tal baja en la cosecha, y fijándonos en el resultado de los otros dos lotes, se ve un pequeño aumento en la producción, aumento que demuestra una vez más su inacción casi total en tierras provistas de manganeso en cantidad suficiente, como le sucede a la de nuestro jardín, y en cuyo caso están muchas de las cultivadas.

La acción del bióxido de manganeso ensayado en los tres lotes siguientes, ha sido francamente favorable; no hay más que ver los excedentes por ciento para observar que el resultado ha sido bueno a pesar de las pequeñas dosis empleadas. Y esto es más de notar, habiendo adicionado tan pequeñas cantidades, pues el profesor italiano Giglioli aconseja, según ya hemos dicho, el empleo de 300

a 400 kilos por hectárea para obtener buenos aumentos de cosecha.

La acción del bióxido de manganeso sobre nuestra planta no deja, pues, lugar a duda. Cabe preguntar ahora: ¿esta acción, es debida al oxígeno exclusivamente? ¿Se debe también al manganeso?

Desde luego puede afirmarse, después de vista la acción del sulfato y fundándonos en ella, que la acción favorable de dicho bióxido se debe, en su mayor parte, al oxígeno. Mezclado el bióxido con la tierra, cuando las condiciones de medio son favorables para los microorganismos que en aquélla viven — en primavera y en otoño principalmente — la materia orgánica de los suelos se descompone; numerosos compuestos, ácidos muchos de ellos, resultan de esta descomposición, los cuales, reaccionando en estado naciente sobre el bióxido, lo descomponen, dejando en último término oxígeno en libertad.

Este oxígeno activa extraordinariamente la vida de todos los microbios aerobios del suelo, los que, al respirar con más intensidad, se desarrollan con más rapidez; y como entre estos microbios están los principales asimiladores de nitrógeno, tenemos, por esta parte, un aumento en la cantidad de nitrógeno del suelo, que se traduce luego en una mayor alimentación nitrogenada para las plantas y, por consecuencia, en un aumento en la cosecha.

Aparte de este papel bioquímico del oxígeno — que se extiende también a los nitrificantes — este gas puede producir también oxidaciones más o menos profundas y por consiguiente, transformaciones en numerosos compuestos del suelo, haciendo de este modo asimilables para las plantas a muchos de esos cuerpos que antes no lo eran.

De cualquier manera que se considere la acción del oxígeno, se observa que es altamente favorable a la vegetación y como ya se ha comprobado por numerosas

experiencias que el manganeso bajo otras formas no acrecienta las cosechas — en tierras suficientemente provistas de este elemento — no queda más solución que atribuir el buen resultado del bióxido a su oxígeno en su mayor parte.

El bióxido de bario nos da también un buen resultado. No en la magnitud que el de manganeso, pero desde luego mucho mejor que el sulfato. Es un intermedio entre ambos. Visto el excedente de cosecha producido con él, podemos afirmar sin vacilación que el oxígeno solo es de superior acción — dos o tres veces más — al manganeso solo, en el caso de nuestro ensayo. La comparación de los dos excedentes, el del sulfato y el de bióxido de bario, lo demuestran.

Considerando ahora los promedios totales para formarnos una idea de conjunto, vemos que el bióxido de manganeso nos da un excedente de 32 por 100, mientras que el de bario lo da de 15 por 100. El promedio del sulfato es en rigor un número negativo; pero si tenemos en cuenta lo sucedido con el primer lote y su resultado lo igualamos a 0, nos resulta un excedente de 4 por 100 que, interpretando científicamente nuestra experiencia, es lo más aproximado a la verdad.

De todo cuanto llevamos dicho, referente a la interpretación de los resultados obtenidos en nuestro ensayo, se deducen las siguientes

CONCLUSIONES

1.^a El sulfato de manganeso empleado como abono sobre tierras suficientemente provistas de este elemento, no da resultado o lo da muy escaso.

2.^a El bióxido de manganeso es un buen abono empleado en dosis mínimas de 80 a 100 kilogramos por hectárea.

3.^a El buen resultado del bióxido de manganeso estriba en que da oxígeno libre en el suelo, el cual produce las siguientes acciones:

a) Activa la vida y, por consiguiente, el desarrollo de todos los microorganismos aerobios, entre éstos los nitrificantes y los principales fijadores del nitrógeno libre del aire.

b) Produce transformaciones por oxidación en numerosos compuestos del suelo, haciendo a muchos de ellos asimilables para las plantas.

4.^a La acción favorable del bióxido de manganeso no debe ponerse a cuenta exclusivamente de su oxígeno; una pequeña parte parece deberse a su manganeso.

5.^a El bióxido de bario es también un buen abono, aunque su acción, a dosis igual, no es tan intensa como la del manganeso.

Sus efectos favorables sobre las plantas se deben a su oxígeno exclusivamente, que produce en los suelos las acciones ya descritas.

6.^a Los bióxidos de manganeso y de bario son unos buenos abonos para vegetales que no fijen el nitrógeno libre del aire, y su empleo estará limitado por su precio de adquisición, y por las condiciones económicas en que se desarrollen los cultivos.

SEGUNDA EXPERIENCIA

Para realizar este segundo ensayo de un modo más completo, elegimos esta vez dos plantas, el trigo y la cebada, que permanecieron sobre la tierra siete meses, recorriendo casi totalmente todas las fases de su desarrollo vegetativo.

La experiencia se dispuso análogamente a la anterior empleando ahora 140 macetas de la misma cabida que las antes usadas y destinándose 70 para cada planta.

Las cantidades de abono que se adicionaron fueron mayores que en el primer ensayo.

La sementera se hizo en los últimos días de Octubre de 1915, y se recogió la cosecha verde — pero con la espiga perfectamente formada en la mayoría de las plantas — a últimos de Mayo de 1916. Procedimos de este modo, sin esperar la completa madurez de las espigas, porque en el jardín en donde realizábamos el ensayo, caen a fines de primavera numerosas bandadas de pájaros que devoran el grano cuando éste está próximo a su madurez.

Obtuvimos los siguientes

RESULTADOS

TRIGO

Lote testigo

N.º DE ORDEN	PESO de la planta corres- pondiente
1	13
2	13
3	10
4	9
5	16
6	23
7	23
8	21
9	22
10	28

BIÓXIDO DE MANGANESO

0,48 gr. por maceta		0,96 gr. por maceta		1,92 gr. por maceta	
N.º DE ORDEN	PESO de la planta correspondiente	N.º DE ORDEN	PESO de la planta correspondiente	N.º DE ORDEN	PESO de la planta correspondiente
11	20	21	21	31	20
12	18	22	29	32	26
13	10	23	14	33	19
14	17	24	22	34	24
15	15	25	29	35	20
16	20	26	22	36	15
17	16	27	21	37	15
18	18	28	14	38	25
19	25	29	19	39	17
20	20	30	30	40	27

BIÓXIDO DE BARIO

0,48 gr. por maceta		0,96 gr. por maceta		1,92 gr. por maceta	
N.º DE ORDEN	PESO de la planta correspondiente	N.º DE ORDEN	PESO de la planta correspondiente	N.º DE ORDEN	PESO de la planta correspondiente
41	28	51	34	61	48
42	37	52	43	62	36
43	18	53	21	63	36
44	27	54	17	64	24
45	19	55	21	65	21
46	18	56	23	66	19
47	16	57	16	67	28
48	19	58	17	68	44
49	14	59	15	69	24
50	35	60	23	70	40

PROMEDIOS

	Abono		Plantas		Excedente por 100
	por maceta gramos	por hectárea kilogramos	peso total gramos	peso medio gramos	
1. ^{er} Lote	00	00	178	17,8	00
2. ^o	M _n O ₂	80	179	17,9	0,5
3. ^o		160	221	22,1	24
4. ^o		320	208	20,8	16
5. ^o	B _a O ₂	80	231	23,1	29
6. ^o		160	230	23	29
7. ^o		320	320	32	79

CEBADA

Lote testigo

N.º DE ORDEN	PESO de la planta corres- pondiente
71	10
72	32
73	18
74	16
75	20
76	20
77	22
78	27
79	19
80	22

BIÓXIDO DE MANGANESO

0,48 gr. por maceta		0,96 gr. por maceta		1,92 gr. por maceta	
N.º DE ORDEN	PESO de la planta correspondiente	N.º DE ORDEN	PESO de la planta correspondiente	N.º DE ORDEN	PESO de la planta correspondiente
81	28	91	27	101	22
82	31	92	27	102	17
83	29	93	23	103	25
84	35	94	34	104	19
85	20	95	26	105	17
86	26	96	25	106	30
87	30	97	24	107	25
88	30	98	18	108	23
89	27	99	21	109	21
90	14	100	23	110	20

BIÓXIDO DE BARIO

0,48 gr. por maceta		0,96 gr. por maceta		1,92 gr. por maceta	
N.º DE ORDEN	PESO de la planta correspondiente	N.º DE ORDEN	PESO de la planta correspondiente	N.º DE ORDEN	PESO de la planta correspondiente
111	27	121	41	151	57
112	22	122	35	132	39
113	35	123	35	133	52
114	29	124	34	134	31
115	20	125	26	135	26
116	24	126	21	136	28
117	17	127	26	137	58
118	22	128	36	138	35
119	26	129	25	139	31
120	34	130	21	140	34

PROMEDIOS

	Abono		Plantas		Excedente por 100
	por maceta gramos	por hectárea kilogramos	peso total gramos	peso medio gramos	
1. ^{er} Lote	00	00	206	20,6	00
2. ^o	0,48	80	270	27	31
3. ^o	0,96	160	248	24,8	20
4. ^o	1,92	320	219	21,9	5,8
5. ^o	0,48	80	256	25,6	24
6. ^o	0,96	160	300	30	45
7. ^o	1,92	320	391	39,1	89

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Respecto del trigo se observa en este segundo ensayo una acción algo menos intensa del bióxido de manganeso que en el primero, a pesar de haber empleado dosis mucho mayores; el mayor aumento ha correspondido a la dosis de 160 kilos por hectárea, decreciendo en el lote siguiente con el máximum de abono.

Esta baja en el excedente de cosecha a medida que aumenta la cantidad de bióxido de manganeso, se manifiesta ya claramente en la cebada. En esta planta, los excedentes por ciento caminan en sentido inverso de la cantidad de abono adicionado.

Habiendo empleado para llenar nuestras macetas la misma tierra utilizada en la primera experiencia, perfectamente mezclada con tierra nueva para hacer una

masa homogénea, y siendo por tanto rica en manganeso, este metal llega a ser nocivo con las grandes dosis añadidas en este segundo ensayo. A esta misma conclusión se ha llegado por casi todos los experimentadores en la materia.

Por lo que se refiere al bióxido de bario, el aumento de cosecha es en ambas plantas muy elevado, caminando los excedentes por ciento en razón directa de la cantidad de abono adicionado. Sobre todo en la cebada, este aumento se pone de manifiesto con una gran claridad, correspondiendo la máxima cosecha a la máxima dosis de bióxido empleado.

Después de las conclusiones establecidas al final de la primera experiencia, sólo nos resta añadir que al bióxido de manganeso debe considerársele más como un abono oxidante que como un abono manganesífero, pues su acción bienhechora sobre los suelos hay que ponerla en su mayor parte a cuenta de su oxígeno y no de su manganeso.

Y respecto de la acción del bióxido de bario sobre la vegetación, parece iniciarse con ella una nueva vía en la fertilización de las tierras, en el sentido de introducir en ellas un valiosísimo agente de fertilización indirecta, el oxígeno.