

EFFECTO DE LA MODIFICACIÓN DEL pH SOBRE LA LIXIVIACIÓN DE CATIONES EN COLUMNAS DE SUELOS CALIZOS

J.C. Hernández¹, D.L. Orihuela¹, S. Pérez-Mohedano², L. Marijuan² y N.R. Furet³

¹ Universidad Politécnica Superior de La Rábida. Huelva. Orihuela, D.L. orihuela@uhu.es

² Empresa Huntsman-Tioxide S.L. Madrid.

³ ISCTN. La Habana. Cuba.

RESUMEN. Los suelos calizos presentan un problema para algunos cultivos, ya que al tener un pH elevado provoca la aparición de clorosis férrica, y por consiguiente amarilleamiento foliar, disminución en la producción, etc.

Para la corrección del pH de los suelos calizos estudiados se utiliza el Sulfato Ferroso Monohidratado (SFM). Este producto suele contener un elevado porcentaje de hierro (15-30%) y de ácido sulfúrico (18%), siendo estos sus dos componentes principales.

El objetivo del siguiente trabajo es el estudio de la evolución de pH, Conductividad Eléctrica (CE), Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ y Na^+ en aguas lixiviadas en columnas de distintos suelos calizos, tras la aplicación de Sulfato de Ferroso Monohidratado.

De los datos obtenidos se podría concluir que estos suelos calizos deben su alto pH a sales del ión calcio que actúa dominando todo el proceso hidroquímico.

El ión Mg^{++} no es cuantitativamente importante en estos suelos, poniendo de manifiesto, probablemente, que son las arcillas con un alto componente cálcico (calcitas) las que predominan en los procesos químicos e hidroquímicos que se den en estos suelos.

Los iones tales como el K^+ son prácticamente independientes de proceso establecido en esta investigación. A dosis altas de los tratamientos el ión monovalente que más se altera en sus lixiviados es el sodio, siendo desplazado de sus posiciones de adsorción a partir de un determinado punto de pH.

El uso de SFM no solo baja el pH, por lixiviados del Ca^{++} en suelos que lo tienen en exceso, sino que además no se afecta al proceso de intercambio de iones como el K^+ necesario para una correcta alimentación de la planta.

ABSTRACT. Calcareous soils present a problem for some crops, since having a high pH it causes the appearance of ferric chlorosis, and consequently leaf yellowness, decrease in the production, etc.

For the correction of the pH of the studied calcareous soils, the Ferrous Sulphate Monohydrated (SFM) is used. This product usually contains a high iron percentage (15-30%) and of sulphuric acid (18%), being these its two main components.

The aim of this work is the study of the evolution of the

pH, CE, Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ and Na^+ in waters leached in columns of different calcareous soils, after the application of Ferrous Sulphate Monohydrated.

From the obtained data, it can be concluded that these calcareous soils owe their high pH to salts of the ion calcium that acts dominating the whole hydrochemical process.

The ion Mg^{++} is not quantitatively important in these soils, possibly showing, that are the clays with a high calcic component (calcites) those that prevail in the chemical hydrochemical processes that are given in these soils.

The ions such as the K^+ are almost independent of the process settled in this research. At high doses of the treatment the monovalent ion that more loses temper in their leached is the sodium, being shifted from its absorption positions starting from a certain pH point.

The use of SFM not only drop the pH, because of leaching of the Ca^{++} in soils that have it in excess, but also the process of exchange of ions like the necessary K^+ for a proper feeding of the plant is not affected.

1. Introducción

Los suelos calizos son suelos cuyo pH está por encima de 7. Ello está asociado a la presencia de carbonatos en la solución del suelo. La calcita es la forma más común de carbonatos en el suelo, pero el aragonito, la dolomita y la magnesita pueden darse también (Wild, 1992).

En la química del suelo, el calcio juega un papel decisivo en los siguientes aspectos:

- Neutraliza la acidez actual de la soluciones del suelo elevando su pH.
- Contribuye a aumentar el porcentaje de saturación de bases del complejo adsorbente, reduciendo la acidez potencial del suelo.
- Estimula la acción de los microorganismos simbióticos y no simbióticos de nitrógeno atmosférico.
- Favorece la respiración radicular.
- Reduce la virulencia de algunas enfermedades criptogámicas típicas de los suelos ácidos.

- Interviene en los mecanismos de intercambio catiónico entre la solución y el complejo, con el consiguiente efecto sobre la fertilidad del suelo y la nutrición de los vegetales.

- Interviene en los mecanismos de intercambio catiónico entre la solución y el complejo, con el consiguiente efecto sobre la fertilidad del suelo y sobre los vegetales.

- Eleva el potencial redox del suelo, y es antagonista de algunos elementos minerales (K, Mn, Fe, B y Zn), dificultando su asimilación y reduciendo su fitotoxicidad (Mn, B y Zn).

Casi todos los elementos disueltos en las aguas intervienen en la alimentación de las plantas, unos como los macroelementos (Ca, Na, etc.) de una forma directa, y otros como los microelementos (Zn, Fe, etc.) y los elementos trazas (algunos metales pesados), pueden intervenir indirectamente en reacciones metabólicas determinadas, a veces no bien conocidas (Sauchely, 1969).

Las aguas drenadas de estos suelos suelen tener, también, un pH superior a 7,5 ocasionando problemas en la asimilación de nutrientes por parte de las plantas, (Orihuela, et al. 2000), puesto que a ese valor de pH se producen bloqueos y cambios químicos en algunos elementos que se hacen así no asimilables para las plantas.

Cuando un agua natural pasa por un terreno donde existen minerales con iones comunes a los que esta lleva disuelto en su seno, disminuye su capacidad para disolver esos minerales (por ejemplo un agua saturada de calcita que pasara por un terreno rico en yeso) (Principio de Lechatelier).

Por el contrario la solubilidad de los minerales en un agua cuya carga salina no contiene prácticamente iones comunes con respecto al terreno que atraviesa, incrementa la solubilidad del mismo. Esto se debe a que, como consecuencia del incremento de la concentración, aumenta la fuerza iónica y se produce una disminución del coeficiente de actividad (Ecuación de Debye- Hückel)" (Fagundo, et al. 1996).

El estudio de las interacciones ion-ion fue realizado entre 1923 y 1924 por P. Debye y E. Hückel, y conducen a una explicación de las propiedades de las disoluciones relativamente diluidas, aquellas cuya concentraciones inferior a 0,01M. Aunque este estudio es limitado, se ha comprobado que es válido, ya que representa un camino que permite extrapolar los datos determinados experimentalmente hasta limite de disolución infinita, así como ofrecer una base de ulteriores generalizaciones, que son más empíricas, pero que son válidas para concentraciones elevadas" (Gordon, 1975). Este fenómeno se denomina efecto salino o fuerza iónica.

Esto supondría que los elemento disueltos por el agua destilada deberían ser menos que los disueltos por el agua de Red.

Así mismo, la acción directa de los ácidos fuertes (nitríco, sulfúrico, etc.) sobre suelos que contienen carbonatos puede dar lugar a un proceso de desprendimiento de CO₂ y acidificación del medio. Previsiblemente la aplicación de un producto como SFM podría dar lugar a un proceso de acidificación agronómicamente muy beneficioso (Hernández, 2001).

La composición química de una agua evoluciona en su movimiento vertical a través de los perfiles del suelo. La información hidroquímica obtenida en puntos de control establecidos, es función además del tiempo de residencia y de las condiciones del movimiento del agua.

Por lo general la existencia de homogeneidades u heterogeneidades hidroquímicas esta relacionada con la organización del drenaje del sistema. Mediante muestreos sistemáticos (quincenales o mensuales) se puede tener una información de las diferentes fases hidroquímicas del agua. De acuerdo a distintos autores (Antigüedad, 1988), los cambios de la CE son función de la disolución. Así el tiempo de recuperación de la CE es función de la modalidad de infiltración, si éste es corto indicaría el predominio de las aguas de infiltraciones rápidas sobre las aguas de infiltración retardada. Si el tiempo de recuperación de la infiltración es largo sucede lo contrario.

Las condiciones de uso agrícola de los suelos con elevado pH se mejoran notablemente disminuyendo el pH con productos (ejemplo SFM) que consigan bajar la acidez. Pero la aplicación de estos productos requiere un conocimiento preciso (Furet, et al. 2002) del mismo por la implicaciones, no solo agronómicas, sino ambientales que ello podría suponer (Orihuela, et al. 1999).

El SFM es el acrónimo del producto comercial Sulfato Ferroso Monohidratado, también conocido con los nombres comerciales de Oligosoil y SulfaFER, siendo un coproducto de la industria del titanio y cuya composición química media en el proceso industrial es la que se da a continuación:

Tabla 1. Composición media del SFM

Fe II	18 %	H ₂ SO ₄	18 %
Mn	0.9 %	Ti	2 %
Zn	1062 %	Se	0.03 p.p.m.
Ni	16 p.p.m.	Sb	0.01 p.p.m.
Pb	38 p.p.m.	As	1.5 p.p.m.
Hg	0.09 p.p.m.	Cd	0.02 p.p.m.
Cr	234 p.p.m.	Cu	0.5 p.p.m.

2. Material y métodos

Para la realización de este estudio se eligieron 4 suelos calizos cuya taxonomía y lugar de procedencia son los siguientes:

- Rendollic Arens CA-05-(1-5); Albariza Rincón-Jerez. Cádiz.

- Entic Haploxerolls SE-04-(1-3); Albariza Estepa. Sevilla.

- Typic Chromoxererts CO-02-(1-4); Bujeo Campiña-Baja. Córdoba.

- Entic Pelloxererts H-03-(1-4). Bujeo Condado-Campiña. Bollullos Par del Condado. Huelva.

De cada suelo se obtienen 6 muestras, cinco para su estudio y una de reserva.

La toma de muestras de suelos se realiza mediante unos tubos de PVC de 110 mm. de diámetro exterior por 650 mm de longitud. Estos tubos se introducen en el suelo mediante el golpeo con martillo, para ello se utilizan dos

piezas de metal colocadas en los dos extremos del tubo con el objeto de no dañarlo, facilitar la penetración de este en el terreno y obtener muestras lo menos alteradas posible.

Una vez introducido por completo el tubo en el terreno, se realiza una calicata con la misma profundidad para acceder al tubo por la parte inferior y evitar que la columna de suelo se salga. Una vez extraído el tubo con el suelo en su interior, se sellan los extremos con malla y goma-espuma, evitando la alteración de la muestra en el transporte y posterior montaje en el laboratorio. Todos los tubos se identificaron correctamente.

Con las columnas en el laboratorio se procede a su montaje, en una estructura de metal en la cual se colocan las columnas de forma vertical.

El goteo de agua se realiza mediante un gotero sanitario que se une, por uno de sus extremos, al tapón de una botella de plástico de 2 l. de capacidad. Para la recogida de los drenajes se fabricó un recipiente con un trozo de tubo de PVC, igual al utilizado para la recogida de muestras. Entre el tubo y el recipiente se coloca una malla de plástico para evitar que la columna de suelo se desplace hacia abajo. La extracción del agua se realiza a través de un macarrón que previamente se ha introducido en el recipiente de recogida.

Una vez las columnas colocadas e identificadas se procede a efectuar el tratamiento correspondiente a cada una de ellas:

Primera columna: se riega solo con agua de Red sin S.F.M. (Clave: A. Red).

Segunda columna: se riega con agua destilada. (Clave: A.Dest.).

Tercera columna: se riega con agua destilada y el equivalente a 1.000 kg/ha de S.F.M. (Clave SFM-1).

Cuarta columna: se riega con agua destilada y el equivalente a 2.000 kg/ha de S.F.M. (Clave: SFM-2).

Quinta columna: se riega con agua destilada y el equivalente a 3.000 kg/ha de S.F.M. (Clave: SFM-3).

Los tratamientos de SFM corresponderían a 0.77 g/columna, 1.54 g/columna y 2.31 g/columna respectivamente.

La columnas se someten a varios riegos equivalente a una lluvia de 500 mm (que corresponde aproximadamente a la pluviometría media anual de las zonas donde se recogieron las muestras de suelos). Se realizan un total de siete riegos, uno cada quince días.

Otras claves usadas en este texto son:

CO-1, ES-1, JE-1 y BO-1: Suelo de Córdoba, Estepa, Jerez y Bollullos respectivamente, Tratamiento A. Red

CO-2, ES-2, JE-2 y BO-2: Suelo de Córdoba, Estepa, Jerez y Bollullos respectivamente, Tratamiento A. Destilada

CO-3, ES-3, JE-3 y BO-3: Suelo de Córdoba, Estepa, Jerez y Bollullos respectivamente, Tratamiento SFM1.

CO-4, ES-4, JE-4 y BO-4: Suelo de Córdoba, Estepa, Jerez y Bollullos respectivamente, Tratamiento SFM2.

CO-5, ES-5, JE-5 y BO-5: Suelo de Córdoba, Estepa, Jerez y Bollullos respectivamente, Tratamiento SFM3.

La medición del pH en las aguas se realiza mediante pHmetro, la CE con conductivímetro y los cationes por el método de ICp-masa.

3. Resultados y discusión

En la Tabla 2 se representan la media de los valores obtenidos en las aguas lixiviadas de los cuatro tipos de suelos utilizados.

Tabla 2. Valores medios obtenidos

Fecha 18/07/02 (Muestra 1)						
Tratamientos	pH	C.E.	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
A. Red	7,52	1,59	246,19	10,65	8,87	12,84
A.Dest.	7,82	0,99	106,69	6,61	4,55	8,08
SFM 1	7,60	2,08	337,01	15,09	11,47	14,60
SFM 2	7,57	1,60	256,21	12,14	9,96	13,99
SFM 3	7,45	1,75	295,56	13,07	10,59	17,25

Fecha 1/08/02 (Muestra 2)						
A. Red	pH	C.E.	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
A. Red	7,61	1,20	182,55	8,60	13,47	11,52
A.Dest.	7,71	1,07	156,51	7,48	14,87	12,59
SFM 1	7,64	1,37	219,59	10,10	15,67	11,68
SFM 2	7,50	1,45	246,84	11,46	14,35	12,29
SFM 3	7,54	1,49	253,66	11,13	19,30	14,42

Fecha 21/08/02 (Muestra 3)						
A. Red	pH	C.E.	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
A. Red	7,54	0,95	133,41	6,60	9,92	10,27
A.Dest.	7,75	0,84	121,00	5,77	11,29	11,71
SFM 1	7,65	1,07	165,26	7,82	11,85	10,66
SFM 2	7,49	1,17	198,25	9,33	10,35	11,16
SFM 3	7,59	1,27	205,91	9,99	13,97	12,31

Fecha 6/09/02 (Muestra 4)						
A. Red	pH	C.E.	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
A. Red	7,58	0,87	162,42	6,88	9,88	10,88
A.Dest.	7,62	0,76	145,38	6,07	11,50	13,34
SFM 1	7,59	0,92	187,08	7,54	11,43	11,69
SFM 2	7,47	1,05	216,92	9,34	10,48	12,76
SFM 3	7,47	1,14	231,22	10,02	14,54	12,64

Fecha 19/09/02 (Muestra 5)						
A. Red	pH	C.E.	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
A. Red	7,52	0,87	164,69	6,95	10,19	11,00
A.Dest.	7,68	0,75	135,69	6,04	10,34	12,19
SFM 1	7,64	0,86	157,26	6,90	9,42	14,10
SFM 2	7,50	1,00	192,91	8,79	8,19	11,12
SFM 3	7,41	1,17	217,44	9,97	12,31	12,55

Fecha 3/10/02 (Muestra 6)						
A. Red	pH	C.E.	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
A. Red	7,63	0,84	141,44	6,36	8,31	10,12
A.Dest.	7,66	0,68	114,21	5,35	7,98	10,88
SFM 1	7,65	0,80	138,09	5,96	7,40	9,91
SFM 2	7,62	0,95	169,06	7,89	6,28	10,50
SFM 3	7,48	1,09	181,95	8,16	10,02	11,28

Fecha 18/10/02 (Muestra 7)						
A. Red	pH	C.E.	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
A. Red	7,60	0,74	128,99	6,11	7,46	9,58
A.Dest.	7,55	1,03	179,38	9,21	8,22	11,94
SFM 1	7,62	1,17	209,76	10,11	7,50	10,54
SFM 2	7,62	0,88	168,37	7,93	5,83	10,06
SFM 3	7,50	1,66	301,41	14,82	9,92	12,42

*Nota: los cationes vienen dados en mg/l y la C.E. en mS/cm.

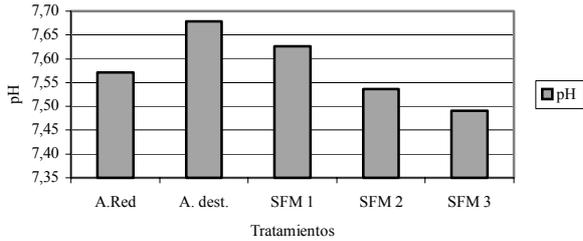


Fig. 1. Valores medios de pH, de las 7 muestras tomadas de aguas drenadas, en los 4 suelos estudiados.

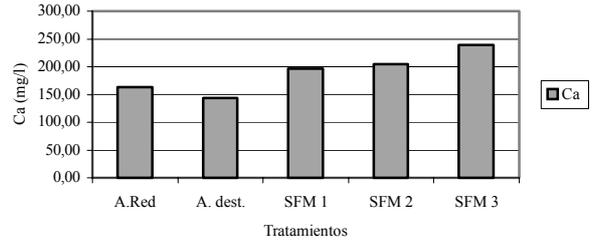


Fig. 5. Valores medios de Ca⁺⁺ (mg/l), de las 7 muestras tomadas de aguas drenadas, en los 4 suelos estudiados.

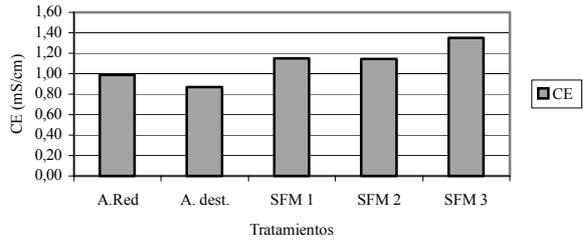


Fig. 2. Valores medios de C.E. (mS/cm), de las 7 muestras tomadas de aguas drenadas, en los 4 suelos estudiados.

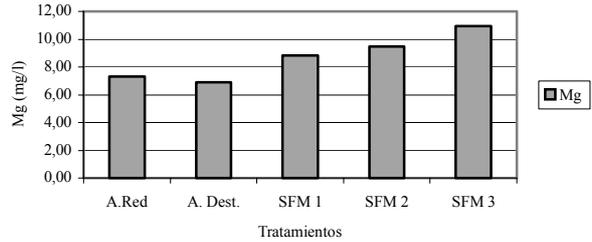


Fig. 6. Valores medios de Mg⁺⁺ (mg/l), de las 7 muestras tomadas de aguas drenadas, en los 4 suelos estudiados.

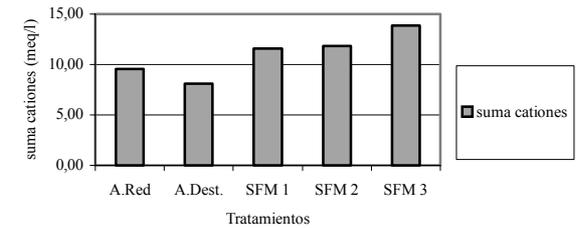


Fig. 3. Valores medios de Σcationes (mg/l), de las 7 muestras tomadas de aguas drenadas, en los 4 suelos estudiados.

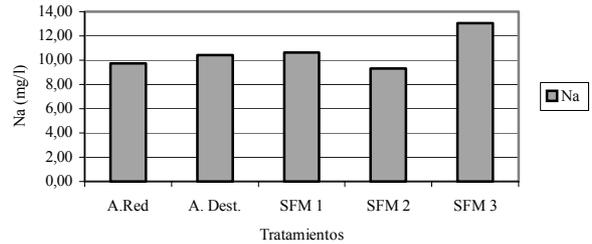


Fig. 7. Valores medios de Na⁺ (mg/l), de las 7 muestras tomadas de aguas drenadas, en los 4 suelos estudiados.

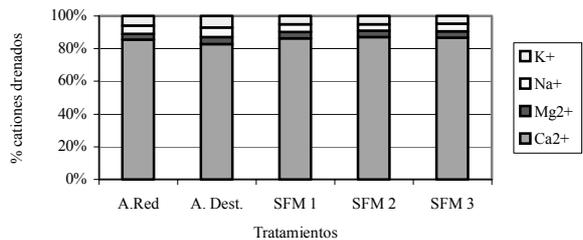


Fig. 4. Valores medios de los distintos cationes, de las 7 muestras tomadas de aguas drenadas, en los 4 suelos estudiados.

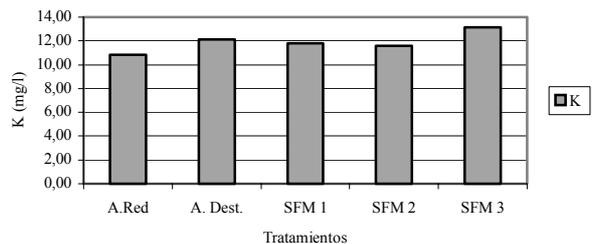


Fig. 8. Valores medios de K⁺ (mg/l), de las 7 muestras tomadas de aguas drenadas, en los 4 suelos estudiados.

En la Figura 1 se pone de manifiesto que el valor medio del pH de las aguas drenadas de las columnas que se regaron con agua destilada, es por lo general mayor, que el pH de las aguas drenadas del resto de los Tratamientos. Esa diferencia es significativa entre A. Dest. “versus” SFM2

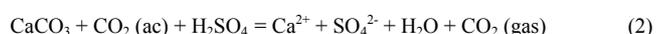
(Sig. 0.023) y A. Dest. “versus” SFM3 (Sig. 0.003). Así mismo existen diferencias significativas en el valor de pH de las aguas drenadas en las columnas del Tratamiento SFM1 “versus” SFM3 (Sig. 0.030) (Figura 1).

Además se pone de manifiesto que a mayores dosis de SFM se produce en las aguas drenadas menor pH. El agua destilada produce menos modificación en esta variable que el resto de los Tratamientos. La explicación de lo anterior podría deberse a que uno de los procesos que con mucha probabilidad se estén dando en esta experiencia es el ataque a los minerales de calcio, que tiene estos suelos, por el ácido sulfúrico que lleva el producto aplicado, de tal manera que la reacción más probable sería la siguiente:



En este proceso se podría estar sustituyendo los minerales primarios (por ejemplo calcita) por yeso.

También cabría la posibilidad de que el ataque ácido a un carbonato cálcico, en presencia de anhídrido carbónico en la fase acuosa, diera lugar al desprendimiento de CO_2 -gas, y al aumento de calcio en solución, según la reacción siguiente:



Es altamente probable que se den ambas reacciones y sean procesos que hagan ganar notables cantidades de bicarbonatos (primera reacción) o calcio (segunda reacción) en las analíticas del agua.

La C.E. de las aguas drenadas de los Tratamientos A. Dest. y A. Red, es por lo general menor, que la C.E. de las aguas drenadas de los Tratamientos con SFM. Esta diferencia es significativa entre A. Dest. “*versus*” SFM1 (Sig. 0.035); SFM2 (Sig. 0.039); SFM3 (Sig. 0.000) y A. Red “*versus*” SFM3 (Sig. 0.006) (Figura 2).

Los sólidos disueltos, correspondientes a la fase catiónica, van en aumento en consonancia con aplicaciones mayores de SFM (Figura 3).

La explicación de lo anterior es que la CE (medida con conductímetro) es una expresión cuantitativa y estimada del total de sólidos disueltos con un coeficiente de relación que varía entre 0,55 y 0,75 (valor medio 0,64). Es decir a mayor CE mayor cantidad de sólidos disueltos. Pero además es el agua destilada el Tratamiento que menos sólidos disuelve. Ello, probablemente, pueda deberse que el regar con agua destilada, que es un agua con una baja mineralización se esté produciendo el efecto citado por Debye-Hückel.

El ión Ca^{2+} es el que domina en los lixiviados con más del 80% de su presencia. Este ión y sus sales son los que gobiernan en estos suelos los factores tales como el pH y la C.E. (Figura 4).

El nivel del ión calcio drenado en las aguas de los Tratamientos con SFM es mayor de forma general que en las aguas de los Tratamientos restantes. Esta diferencia es significativa entre: A. Red “*versus*” SFM3 (Sig. 0.001) y A. Dest. “*versus*” SFM1 (Sig. 0.019); SFM2 (Sig. 0.007); SFM3 (Sig. 0.000). La cantidad de Ca^{2+} drenada por las aguas es función cuantitativa del ataque ácido, y por ello dependiente de las dosis de SFM (Figura 5). La explicación se visto al comienzo de esta discusión.

En el caso del Mg^{2+} se repite el proceso al igual que en el caso del ión Ca^{2+} , pero con menor importancia cuantitativa. Las diferencias existen entre: A. Red “*versus*” SFM3 (Sig. 0.004) y A. Dest. “*versus*” SFM2 (Sig. 0.040); SFM3 (Sig. 0.001) (Figura 6).

Por lo que respecta al Na^+ , la cantidad de este elemento presente en las aguas se mantiene constante hasta un cierto punto de pH (aproximadamente el que establece el Tratamiento SFM 2). A partir de este punto el nivel de Na^+ en las aguas de drenaje aumentan notablemente, no existiendo diferencias significativas entre los distintos Tratamientos (Figura 7).

La explicación de ello es que el sodio sería desplazado de la fase adsorbente por la presencia de iones H^+ , cuando estos estén en cantidades notables (pH bajo).

Los lixiviados de K^+ se mantienen constantes, prácticamente, y casi independientes del proceso seguido en esta investigación. Solamente decir que el nivel de K^+ analizado en el agua de drenaje del Tratamiento SFM3 es mayor que en las aguas drenadas del Tratamiento A. Red (Sig. 0.015) (Figura 8). La explicación es idéntica a la del sodio, manteniéndose intacto, probablemente, el K^+ interlaminar.

4. Conclusiones

De los datos obtenidos se podría concluir que estos suelos calizos deben su alto pH a sales del ión calcio que actúa dominando todo el proceso hidroquímico.

Los lixiviados de este ión, y razonablemente cabría pensar también en las sales cálcicas, por efecto del ataque de mejoradores edáficos, tales como el SFM, disminuye el pH de los suelos, mejorándolos a efectos de uso agrícola.

El ión Mg^{++} no es cuantitativamente importante en estos suelos, poniendo de manifiesto, probablemente, que son las arcillas con un alto componente cálcico (calcitas) las que predominan en los procesos químicos e hidroquímicos que se den en ellos.

Así mismo, los iones tales como el K^+ son prácticamente independientes de proceso establecido en esta investigación. Lo anterior, razonablemente, hace pensar que la posición del intercambio en las arcillas, donde se encuentra situado este ión, no se ve alterada por el proceso del ataque con SFM, por lo menos a las dosis aquí empleadas.

A dosis altas de los tratamientos, el ión monovalente que más se altera en sus lixiviados es el sodio, siendo desplazado de sus posiciones de adsorción a partir de un determinado punto de pH.

Así pues, finalmente, concluir que el uso de SFM no solo baja el pH, por lixiviados del Ca^{++} en suelos que lo tienen en exceso, sino que además no se afecta al proceso de intercambio de iones como el K^+ necesario para una correcta alimentación de la planta.

Agradecimientos. Al proyecto de investigación 11/45 "Suelos y materia orgánica mejorados con Sulfato Ferroso Monohidratado" entre la Universidad de Huelva y la empresa Hunstman-Tioxide, por su financiación.

Referencias

- Aminot, A. (1974): "Geochimie des eaux d'aquifers Karstiques. 2: Les Analices Quimiques en Hydrologie Karstique". *Ann. Speolog.* (29(4)): 462-468. France.
- Antigüedad I. (1998): "Estudios de Acuíferos Karsticos a partir de sus Respuestas Naturales. Aplicación a los Sistemas del País Vasco". *Rev. Soc. Geológica de España.*
- Fagundo, J.R. (1996): "*Hidroquímica del Kars. Recursos Hídricos y Geología Ambiental*". ISBN: 84-921345-8-X. La Habana. Cuba.
- Furet, N.R., Hernández, J.C., Marijuan, L., Furet, Perez-Mohedano, S., Orihuela, D. L. (2002): "Characterization of a Metallic Sulphate by Mossbauer Spectroscopy . Some Results (leaf levels) of it Application in Calcareous Soil". VIII Conferencia Latino Americana sobre las Aplicaciones del Efecto Monssbauer.. LACAME 2002. Sep. Panamá.
- Gordon, M. (1975): "*Química Física*". 3ª Edición. Ed. Reverte s.a. Barcelona.
- Hernández, J.C., Marijuan, L., Furet, N.R., Pérez-Mohedano, S., Orihuela, D.L. (2001): "Modificaciones en el pH y en la C.I.C. de los suelos mediante la aplicación de sulfato metálico, en el cultivo de la fresa (España)". Ed. Sociedad Latinoamericana de la Ciencia del Suelo. Matanzas. La Habana. Cuba.
- Orihuela, D.L., Furet, N.R., Marijuan, L., Giménez, M. (1999): "Aplicación de la Espectroscopia Mönsbauer al Estudio Químico Estructural del Sulfato de Hierro Monohidratado usado como Abono en Parcela de Melocotones (*Prunus persica*) en Cartaya (Huelva)". Parte I. NURT'99 173. La Habana. Cuba.
- Orihuela, D.L., Marijuan, L., Escobar, F.J., Hernández, J.C., Esteban, C. (2000): "Mejoras Edafológicas en los Parámetros Fe, Mn y ZN en Suelos Calizos por la Aplicación de Sulfato Metálico en Plantaciones de Melocotones". *Revista Agrícola Vergel.* Núm. 225. Pág. 582-589.
- Sauchely. (1969): "*Trace Elements in Agriculture*". Van Nostrand Reinhold Pub. Corp. New York.
- Wild, A. (1992): "*Condiciones del Suelo y Desarrollo de las Plantas según Russell*". Ed. Mundi-Prensa. Madrid.