

Humedales manchegos: características de funcionalidad geodáfica. Resultados preliminares¹

Juan José SANZ DONAIRE y Almudena SÁNCHEZ PÉREZ DE EVORA

INTRODUCCIÓN

La importancia que hoy en día han cobrado los estudios medioambientales ha supuesto un cambio radical en la consideración disyunta y troceada de las realidades tanto naturales como en su relación con las intervenidas por el hombre. A ello no es ajena la Geografía que desde hace más de siglo y medio viene haciendo hincapié en la necesidad de aunar científicamente lo que espacialmente aparece unido. Con la ayuda metodológica de la Teoría General de Sistemas que ofrece la herramienta imprescindible para la aproximación a las realidades de carácter complejo, los *espacios naturales* —objeto primordial de estudio de la Geografía Física— han sido contemplados en su territorialidad, así como en su funcionamiento o funcionalidad. Hoy parece insostenible un estudio que no incluyera la «fisiología», la acometida de los procesos, entre sus principales tareas. Lo estrictamente geográfico no sólo resulta ser la interconexión entre los elementos que funcionan acompañados, sino la intervención —así como los resultados o efectos— espacial en las relaciones antes mencionadas. Las redescubiertas *Ciencias de la Naturaleza* han optado, asimismo, por dar un contenido territorial a sus estudios, pues de otro modo no habríamos asistido en los

¹ El presente trabajo ha sido financiado por las Comunidades Europeas dentro del Programa STEP, Proyecto «Functional Analysis of European Wetland Ecosystems» (FAEWE), CT-90-0084.

últimos tiempos a la proliferación de los *estudios de casos*, lo que en otro modo de pensar se llamarían modelos o pautas de comportamiento ejemplar o significativo, por su amplia representatividad. Personalmente, queremos llamar la atención los autores sobre el hecho de que, en la búsqueda por la concepción holística, las Ciencias Naturales, y de un modo particular, la *Ecología*, se han imbuido de territorialidad, casi en la misma medida en que la Geografía ha intensificado los estudios de relación aespacial.

En este marco y fructífero contexto han desempeñado y desempeñan un papel importante las investigaciones que sobre los *humedales o higrocoras* (Sanz Donaire, 1992) se han venido realizando en los últimos tiempos. Se trata de lugares o áreas más o menos extensos que destacan por la interrelación de la humedad del suelo o roquedo (generalmente sedimento, y en el sentido más amplio, formación superficial) con la presencia de unas características edáficas condicionadas por la presencia del agua. De entre ellas sobresalen los moteados por condiciones cambiantes de oxidación-reducción, la movilidad o fijación del hierro (y de otros elementos, de entre los cuales la proliferación del hierro le eleva a la categoría de elemento guía), los intercambios entre carbono y nutrientes en el hervidero de vida de los lugares húmedos, el régimen ácuico y la salinidad (Buol y Rebertus, 1988; Pierce, 1989; Schalles, 1989). Esta última propiedad es sin duda la característica más importante de las higrocoras de los ambientes mediterráneos, por semiáridos.

Al mismo tiempo, la vegetación que crece sobre y en estos suelos, en sus más complicadas e íntimas relaciones con los mismos, ofrece un destacado papel visual en el conjunto de la monotonía meseteña. Si los vientos que hoy soplan convocan al estudio de la *biodiversidad*, por cuanto ello significa de preservación de la riqueza en la pluralidad, los humedales en el entorno del centro peninsular constituyen un magnífico ejemplo de ruptura de unas condiciones monocordes. Aquí y allá destacan en el paisaje las notas distintivas de una vegetación al menos frondosa, cuando no simplemente diferente. Con cambios en la estructura vegetacional, que denotan otros tantos en la dinámica y funcionalidad de los seres vivos que pueblan dichos territorios, salpican el panorama abiertamente sombrío de una uniformidad proverbial genérica.

Estas notas de colorido, a modo de la súbita floración de plantas que brotan tras la vivificante lluvia que corta un período de sequía, se encuentran hoy amenazadas por una creciente e irracional extorsión que al medio hace el hombre, en su avidez por los usos del agua (Sanz Donaire y García Rodríguez, 1991). La amenaza de la desaparición se cierne, como nunca, sobre la frágil e inestable precariedad de las higrocoras mediterráneas. Debe decirse que en Grecia se puede afirmar sin paliativos que han desaparecido todos los humedales, y que en

la Italia central y sureña van caminando a su rápida supresión. España tiene el orgullo de haber conservado con mayor pureza estos terrenos, probablemente por una presión demográfica de menor intensidad, aunque el deterioro sufrido en los últimos decenios puede convertirse tristemente en definitivo.

BREVE RESEÑA DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR MUESTREADO

Los humedales que se están estudiando se hallan localizados en la confluencia de los ríos Riánsares y Cigüela, afluentes del Guadiana. Estos humedales son típicamente fluviales marginales, situados a 39°31'N y 3°18'W (datum europeo) y unos 600 m de altitud (Sanz Donaire, 1989). Administrativamente pertenecen a la Comunidad de Castilla-La Mancha, sitios en el borde de la provincia de Toledo con la de Ciudad Real, término municipal de Quero.

El régimen pluviométrico está definido por un verano muy seco y por unas precipitaciones medias anuales que no llegan a los 450 mm concentrándose principalmente en las dos estaciones equinociales, el otoño y, sobre todo, la primavera. El régimen fluvial se muestra altamente estacional, lo que explica que, a pesar de la alimentación kárstica del río, el cauce quede totalmente seco en verano y, por ende, su llanura de inundación (Sanz Donaire, 1990 b).

Topográficamente nos encontramos ante una zona llana donde las diferencias de nivel raramente llegan a superar los 30 m, característica esta propia de la región manchega a la que pertenece.

Sin embargo, la litología es variada, con calizas pliocenas de poca potencia con inclusiones de sílex aplanados coronando los cerros tabulares cercanos llamados «mesas», bajo los cuales existe una amplia gama de materiales como margas, arcillas y yesos fundamentalmente, si bien los conglomerados pueden dominar hacia los bordes de la cuenca de sedimentación y como facies basal. Estos materiales representan los cambios laterales de facies para una edad miopliocena en un ambiente sedimentario continental árido. Aparecen, pues, en las márgenes de la cuenca sedimentaria, lo mismo que ocasionalmente a lo largo de los cauces de los ríos (a pesar de la escasa incisión de las arterias fluviales), unos conglomerados cuarcíticos ferruginizados, debajo de los cuales yacen grandes bancos de yeso y calizas de edades miocena, jurásica y triásica, que esporádicamente pueden aflorar también en superficie. Las abundantes calizas constituyen el acuífero fundamental de este área que en los últimos años está siendo explotado considerablemente, llegándose a sobrepasar los 30 m de descenso (García Rodríguez y Llamas, 1992). Por lo general, el substrato paleozoico se halla a poca profundidad por lo que está gobernando tectónicamente el conjunto de los paquetes superiores (Sanz Donaire, 1990 a).

La geomorfología de este lugar viene caracterizada por la confluencia de dos ríos importantes, teniendo en cuenta la zona de trabajo, que forman una llanura de inundación de unos 3 km de anchura media, recorrida por una serie de canales anastomosados de unos 80 cm de profundidad. Por tanto, la red fluvial apenas está incidida. Desde el Plioceno Medio hasta la actualidad el encajamiento ha comportado sólo 30 m, y la inactividad fluvial se comprueba por la ausencia de terrazas, una particularidad que la distingue por contraria a lo que es habitual en el centro peninsular español (Sanz Donaire y Díaz Alvarez, 1992).

La vegetación potencial de la región debiera ser el típico bosque mediterráneo de carrasca (*Quercus rotundifolia*) cuya presencia en el área es irrelevante, pues se reduce a pies aislados, siendo sustituida por bosques de pinos. Matorrales y monte bajo, cuando no una vegetación todavía menor, se diseminan por aquellos parajes donde no se hallan usos agrícolas del suelo. En los humedales aparece la masiega (*Cladium mariscus*), el carrizo (*Phragmites australis*) que va aumentando su superficie en detrimento de lo anterior, y el taray (*Tamarix canariensis*) árbol que ha sido favorecido por el hombre. La alta salinidad y el contenido en yeso explica la presencia de los géneros *Limonium*, *Suaeda*, *Salicornia*, etc.

Los suelos en los alrededores de los humedales corresponden a los típicos mediterráneos en áreas ricas en carbonatos, y se clasifican de cambisoles cálcicos y crómicos. Los suelos propios de los humedales, según la clasificación de la FAO, entrarían en el grupo de los solonchak, en el caso que predominasen grandes cantidades de sales y, de otro modo, forman parte de los fluvisoles y gelysoles (Monturiol, 1984; Carlevaris et al., 1993).

OBJETIVOS

El objetivo final del estudio completo es el reconocimiento y medición de parámetros climáticos, edáficos, biológicos, geomorfológicos e hídricos, para caracterizar las complicadas relaciones e interacciones dentro de este ecogeosistema. En el marco de este gran proyecto y para este trabajo únicamente, se pretende realizar unas primeras aproximaciones, así como el comentario, todavía más insinuante que preciso, a los primeros datos en relación a los suelos de estas higrocoras.

La influencia del hombre en este área es antigua, pues se han encontrado numerosos asentamientos prehistóricos en las inmediaciones, tales como los «castros» de Tirez (excavado por el Prof. Martín Almagro Basch), de la Laguna de los Carros o de Pedro Muñoz (excavado por el Prof. Víctor Fernández

Martínez) que muestran la estrecha relación entre los lugares húmedos-lagunas y la localización preferencial de los asentamientos humanos. Por los numerosos testimonios escritos se sabe que monjes medievales de la Orden de Santiago (cuya casa central se halló siempre en Uclés, a escasos kilómetros de distancia) construyeron muros artificiales de contención del agua, llamados localmente «cespederas» (González Bernáldez, 1993). Con ello pretendían que el agua permaneciera también durante el fuerte estiaje del verano y así mantener una fuente de alimento y riqueza: el pescado. Los valladares de las cespederas se han venido reconstruyendo y reparando en incontables ocasiones desde su diseño para mantener su función.

En 1987 se excava el cauce del río Cigüela de 80 cm a 150 cm recreciendo los márgenes del río y creando un segundo malecón, esta vez artificial, conocido como «palería». La causa fundamental de esta limpieza del cauce se debe a la necesidad de llevar agua al Parque Nacional de las Tablas de Daimiel, aumentando la velocidad del río y su caudal con el trasvase Tajo-Segura (VV. AA., 1992). Las consecuencias de esta actuación han sido muy importantes, desapareciendo todos los humedales de las márgenes fluviales en esta zona, menos uno que, antes de la sequía de 1992/93, era estacional.

Para estudiar, por tanto, estos cambios se han seleccionado dos de estos humedales:

- El Masegar, laguna estacional cuyo funcionamiento se considera que reproduce las condiciones naturales, a pesar de la excavación del río².
- Molino del Abogado, laguna seca por efectos de la profundización del río³.

Las similares características topográficas de detalle que tienen las dos lagunas han llevado a reconocer cuatro estaciones de muestreo diferentes ordenadas dependiendo de la proximidad al río:

1. antigua llanura de inundación;
2. pequeña depresión, formada a partir de la excavación para la creación de las cespederas;
3. llanura de inundación, localizada entre la cespedera de la laguna y la palería del río;
4. depresión que corresponde a un canal abandonado del antiguo cauce del río.

² En este lugar se desea hacer expresa mención de gratitud a la Fundación José María Blanc por permitir y facilitar la recogida de datos en su propiedad.

³ Igualmente es de justicia agradecer a don Miguel Oriol, propietario de la finca, el permiso para trabajar en ella.

METODOLOGÍA

Los parámetros cuyas medidas se publican aquí son:

- nivel piezométrico
- potencial redox
- pH
- conductividad eléctrica
- descomposición orgánica por el método de las tiras de algodón.

El nivel piezométrico se ha medido con unos tubos de cloruro de polivinilo, del tipo usado corrientemente en fontanería, instalados en todas las estaciones permanentes, y a unos profundidades que van desde los 20 cm a los 3 m.

Los valores de oxidación-reducción se han obtenido a través de electrodos instalados en el suelo y medidos con un multímetro con electrodo de referencia de puente salino. Las profundidades de toma de datos son a -5, -40 y -80 cm.

El pH y la conductividad eléctrica se miden en una dilución 1:2,5.

La técnica de las tiras de algodón tiene como finalidad saber la intensidad de la actividad de los microorganismos en el suelo (Harrison et al., 1987; Delaune et al., 1981; Latter y Howson, 1977; Maltby, 1988). Para ello cinco tiras (de algodón 100%, esto es, de celulosa, fabricadas «ex professo») se introducen en el suelo durante un mes; una vez sacadas, lavadas, secadas y cortadas en probetas para las distintas profundidades, pasan a ser medidas en un dinamómetro. Los datos se transforman en pérdida de tensión diaria relativa (respecto a una muestra que ha sido introducida y sacada del suelo, pero no abandonada en el mismo durante el mes) y se calcula su media y desviación estándar (Lindley y Howard, 1988).

RESULTADOS

Se presentan los resultados obtenidos durante el período de muestreo agosto/septiembre de 1991 a febrero/marzo de 1993, estación por estación, y se exponen consideraciones muy generales con estos datos que aún se pueden considerar como parciales. Al propio tiempo, el engarce con otros datos que se están tomando, permitirá una mejor comprensión del panorama de procesos actuantes.

Teóricamente, los valores de redox en el suelo deben cambiar con relación inversa respecto de los cambios en los niveles de la capa freática (Quispel, 1947; Gambrell y Patrick, 1988). Por el contrario, como se podrá ver en los gráficos en una primera aproximación, la imagen que se muestra es caótica. Esto puede ser parcialmente debido a la exigua cantidad de precipitaciones caídas en estos dos

últimos años y como consecuencia de que el río y sus llanuras de inundación estén secos. Por tanto, las relaciones esperadas son difíciles, cuando no imposibles, de encontrar. Se ha destacado la importancia del tipo de suelo, más que el grado de aireación, en los datos del redox (Dupuis, 1952).

Los trabajos más antiguos sobre el redox en los suelos se dirigen preferentemente a conocer su mesurabilidad, así como los rangos en que fluctúan los valores, especialmente en relación con la otra gran medida del suelo que es el pH (Pearsall, 1938; Pearsall y Mortimer, 1939), siendo la relación entre los dos parámetros de carácter inverso (Dirks, 1940). Desde una óptica química se ha puesto en énfasis en la necesidad de que en el suelo haya suficiente cantidad de materia orgánica (Breemen, 1969; Navarro et al., 1986; Bohn, 1971) y ausencia de iones capaces de pasar de un grado de oxidación a otro de tal forma que el equilibrio sea atribuible únicamente a los constituyentes húmicos (Gutiérrez Ríos, 1944; Volk, 1939 a y b). No obstante, suele opinarse que tiene más importancia el grado de aireación del suelo que la concentración de las sustancias potencialmente reductoras (Quispel, 1947). También se han destacado las relaciones con las plantas y la toxicidad de los valores bajos de Eh, así como la variabilidad según los cultígenos en los que se muestree (Yu y Li, 1956; Thibodean y Nickerson, 1986). Recientemente se ha abordado la hidromorfía desde la óptica de la micromorfología (Dorronsoro et al., 1988).

Estación 1

Masegar

Los niveles del agua muestran una típica curva sinusoidal. Permanecen por encima de la superficie topográfica un par de meses (con un cuerpo de agua de unos pocos centímetros de profundidad) durante la estación equinoccial de lluvias. Y, paradójicamente, bajan hasta los —250 cm en septiembre-octubre, durante la segunda estación de lluvias, a causa de la histéresis que se produce debido a la falta de agua en el suelo-sedimento después de la época estival.

Los electrodos de redox a profundidades de -40 cm y -80 cm pueden estar en la zona saturada durante un período de 8 a 9 meses. Sin embargo, cuando los niveles piezométricos descienden, el Eh baja, comportamiento que podría ser explicado por el barrido que realiza en el suelo un frente de agua rico en oxígeno. Por otro lado, desde agosto del 92 la curva cambia su tendencia hacia los valores esperados, con variaciones inversamente proporcionales a las del nivel freático. Aun así la relación directa con el régimen del agua subsuperficial es problemática.

El electrodo de superficie -5 cm muestra menos variabilidad, como corresponde a la ausencia de agua durante el período muestreado (Fig. 1).

Los valores de conductividad varían según la estación, desde 1 mS cm^{-1} en noviembre, cuando la superficie está húmeda debido a las lluvias equinocciales, a un máximo de 10 mS cm^{-1} en julio. La salinidad en general es muy alta (Fig. 2).

Los valores de pH permanecen en torno a 7,5 y raramente sobrepasan la frontera del 8,1 (Fig. 3).

La actividad microbiana aumenta cuando coincide alta temperatura con humedad en el suelo y, por consiguiente, la pérdida media de tensión diaria en las tiras de algodón aumenta en todas las profundidades (Fig. 4).

Estación 1

Molino del Abogado

Tal y como se pondrá en evidencia en todas las estaciones del Molino del Abogado, el nivel piezométrico nunca está en contacto con los electrodos a profundidades de -40 cm y -80 cm. La capa freática no ha sobrepasado los -120 cm en año y medio de muestreo. Para poder comprender el comportamiento de las aguas subsuperficiales se han suavizado los valores tomados directamente de las lecturas de piezómetro merced a una curva envolvente. Así la tendencia general muestra una curva sinusoidal como en la localidad «natural» del Masegar.

El electrodo de -80 cm no puede estar influido por la capa freática, pero muestra una variación inversa al nivel piezométrico, acorde con lo esperado.

El electrodo de -40 cm muestra la misma tendencia que el de -80 cm., aunque amortiguando el efecto que presumiblemente le habría de causar el agua subsuperficial, porque el supuesto efecto de la misma todavía debe ser menor (Fig. 5).

La variabilidad de los valores del redox está bien correlacionada con el contenido de arena a las diferentes profundidades (42% a -40 cm y 68% a -80 cm), por lo que la capilaridad puede ser una característica significativa en la determinación de la humedad en el suelo. Hay que tener siempre en cuenta que el ciclo 92/93 ha sido más seco que el anterior, por lo que la respuesta del redox se reduce.

La etología de los valores de redox a -5 cm claramente coincide con la variabilidad de las lluvias.

Resumiendo, a estas alturas del trabajo se cree que la oscilación de los valores

en el electrodo superficial está determinada por un origen pluvial, mientras que los más profundos lo estarían por el agua subterránea.

No debiera subestimarse el efecto de las sales durante la estación seca (en nuestro caso desde febrero a agosto de 1992), por cuanto que aquéllas sellan completamente el suelo lo que podría suponer que el agua no se pudiera evaporar en su totalidad y, por tanto, se explicaría la persistencia de esos valores de reducción en todos los horizontes del suelo.

Los datos de conductividad sobrepasan los 20 mS cm⁻¹ en verano, bajando a 5 mS cm⁻¹ en la lluviosa estación otoñal (Fig. 6).

Los resultados de las tiras de algodón siguen las mismas características antes expuestas (Fig. 7).

Estación 2

Masegar

Esta estación es la que permaneció inundada por más tiempo, desde diciembre 1991 a junio 1992, llegando la lámina de agua hasta los 50 cm sobre la superficie.

Con todo, no disminuyen los valores del potencial de oxidación-reducción. Incomprendiblemente los valores de redox a -80 cm llegan hasta los +500 mV (¡en valores corregidos!) (Fig. 8). Esto sólo se puede explicar por la penetración de agua cargada de oxígeno. Podría ser que hubiera agua circulando libremente, ya que se ven en las inmediaciones numerosos agujeros e incluso túneles. Generados por un proceso de subfosión, dichos conductos se encuentran ligados al oscilante nivel del río. Actuarían erosivamente durante las aguas bajas fluviales, siempre que unas precipitaciones copiosas favoreciesen el lavado de limos y sales. Por el contrario, durante las aguas altas, que casi con exclusividad se manifiestan hoy unidas a la «suelta» del trasvase Tajo-Segura, la red subterránea de conductos actuaría en sentido inverso, alimentando de agua las áreas que antes fueron drenadas por estos exutorios. La prueba definitiva de que estos túneles son funcionales es que se han encontrado cangrejos del cauce al hacer excavaciones en los conductos así como en las inmediaciones de los agujeros de comunicación.

Nótese que la presencia de sales dispersivas y el alto contenido en limo, facilitan la formación del «piping» en el terreno (Harvey, 1982; López Bermúdez y Romero Díaz, 1989; Soriano, Colico y Torri, 1992).

Por tanto, cuando el agua rica en oxígeno pasa a través del perfil del suelo aparecen estas condiciones oxidantes (valores alrededor de +300 mV).

El comportamiento en la superficie está relacionado con la entrada de agua atmosférica.

Los valores de conductividad van de $1,8 \text{ mS cm}^{-1}$ en octubre a 8 mS cm^{-1} en julio (Fig. 9). Los valores extremados que aparecen en otras estaciones no son normales aquí, debido a la alta permeabilidad provocada por el «piping», ya que el agua arrastra las sales lavando el perfil del suelo.

Estación 2

Molino del Abogado

En esta pequeña depresión el nivel del agua ha estado siempre por debajo de la superficie topográfica, mostrando la representación gráfica del piezograma un perfil sinusoidal como en las anteriores estaciones. La curva nunca ha estado por encima de los -80 cm y origina una meseta en junio del 92, debido a las copiosas lluvias caídas.

Los electrodos de -40 cm y -80 cm se muestran erráticos al comienzo de la toma de datos, pero desde febrero del 92 describen una línea recta aproximadamente situada en los $+100 \text{ mV}$ ó $+200 \text{ mV}$ (valores ligeramente reductores). Este comportamiento también fue encontrado en suelos rícícolas por autores chinos (Yu y Li, 1956). Ello podría ser debido a la absoluta sequedad del suelo-sedimento y, por descontado, resulta totalmente independiente de las variaciones del nivel piezométrico que se sitúa por debajo de los dos metros.

El electrodo de superficie presenta el rango de variabilidad mayor de todas las observaciones, con una amplitud de 450 mV (Fig. 10). No existe correspondencia aparente alguna con los datos climáticos. Como ya se mencionó en otras estaciones, las costras de sales que se forman en superficie podrían desempeñar un papel importante en la reducción del electrodo más superficial, especialmente durante los meses más secos del verano.

Al contrario de la estación del Masegar, pero como cabe esperar, la conductividad presenta unos valores muy altos, de 18 mS cm^{-1} en agosto y 2 mS cm^{-1} en octubre (Fig. 11). Resulta obvia su relación con las fluctuaciones de humedad en el suelo que, en definitiva, se ligan a las atmosféricas.

Los valores de pH con un rango desde $7,5$ a $8,8$ ascienden del mismo modo en que aumenta la sequedad (Fig. 12).

Estación 3

Masegar

El electrodo superficial muestra una curva inversa a la sinusoidal del nivel freático, siendo esto bastante sorprendente, ya que no puede existir una relación

directa cuando la mayor parte del tiempo el agua está por debajo de un metro. Por el contrario, los valores de redox de -40 cm y -80 cm tienen siempre los mismos valores y reproducen la curva del agua con una histéresis de 1 a 3 meses, apareciendo así tres curvas sinusoidales (Fig. 13). Se podría encontrar una explicación en el hecho de que el agua cargada de oxígeno atravesase el perfil edáfico, lo que ya ha sido puesto de manifiesto en otras ocasiones (Dupuis, 1952). Dicho oxígeno podría quedar exhausto después de un período medio de permanencia en el suelo de 2 meses.

Incluso conociendo el alto valor de permeabilidad (70% de arena a -40 cm), la histéresis estaría controlada por poros muy finos generados tras una rápida recristalización de las sales.

La conductividad eléctrica se caracteriza por valores entre 14 y 5 mS cm⁻¹ en mayo y octubre respectivamente (Fig. 14).

Los valores de pH no añaden nada nuevo a lo comentado en otras estaciones (Fig. 15).

Estación 3

Molino del Abogado

Esta estación muestra una curva piezográfica suavizada con un máximo en abril y una pequeña meseta en junio que se corresponden con las importantes lluvias caídas en 1992 y un mínimo en septiembre-diciembre, cuando se produjo la bajada del nivel piezométrico hasta dos metros y medio. Nunca durante el período de muestreo el nivel freático se ha aproximado a menos de 70 cm del electrodo de -80 cm. Por ello, no existe una respuesta clara ante los cambios acaecidos en el nivel de las aguas subsuperficiales. La tendencia general es a una casi insensible disminución de los valores de Eh. Otro tanto puede afirmarse del electrodo de -40 cm.

La causa del pico situado en junio de 1992 puede imputarse a la entrada de aguas de procedencia atmosférica muy cargadas de oxígeno (Fig. 16). Por el contrario, la proximidad del canal, a 2 m por debajo de esta estación, ayudaría a drenarlo y hacer que el nivel freático descendiese aceleradamente. A su vez, la superficie del agua subsuperficial está controlada de cerca por el nivel de agua libre del cauce del río, que en definitiva viene manejado por las autoridades en materia hidrológica, que toman los caudales del trasvase Tajo-Segura.

Los valores de conductividad extremos se corresponden con mayo (19 mS cm⁻¹) y octubre (2 mS cm⁻¹) (Fig. 17).

Los valores de pH están en torno a 9, tal vez por la presencia de carbonato

sódico (Fig. 18). Por lo general, se muestra una buena correlación entre la aridez acumulada con el tiempo y el parámetro pH.

Estación 4

Masegar

Esta estación estuvo inundada desde febrero a abril de 1992, bajando el nivel piezométrico después durante el otoño a menos de -2,50 m a causa de la gran sequía. La curva piezográfica muestra el trazado sinusoidal habitual.

Los primeros datos de redox de -80 cm son erráticos durante los cinco primeros meses, si bien a partir de agosto de 1992 se estabilizan. Lo mismo ocurre con el electrodo de -40 cm: al principio podía correlacionarse inversamente con el nivel freático, pero a partir de agosto de 1992 se estabiliza, después de la subida en junio debida a las importantes precipitaciones.

El electrodo de superficie puede explicarse por las condiciones meteorológicas, dando unas fuertes condiciones oxidantes cada vez que unas copiosas lluvias aportan oxígeno al suelo (Fig. 19). El que podría denominarse *gradiente georedox* presenta un signo negativo con el aumento de la profundidad.

Como es normal, los valores de conductividad son altos en agosto, cuando se alcanzan los 12 mS cm⁻¹, y los bajos en octubre (2 mS cm⁻¹) (Fig. 20).

El pH permanece con valores más bajos que la estación correspondiente en Molino del Abogado (Fig. 21).

Estación 4

Molino del Abogado

La curva piezográfica es bimodal porque las fuertes lluvias caídas en junio 92 han generado una meseta al principio del verano. La bajada del nivel freático puede ser debida a la influencia de los tarayes cercanos a la estación, cuya capacidad para vaciar los almacenes de las aguas subsuperficiales, incluso si se trata de aguas salobres, ha sido citada en numerosas ocasiones (Ferrerías Chasco, 1986).

El electrodo de -5 cm está relacionado nítidamente con las lluvias: cada vez que hay agua en el suelo aparecen las condiciones reductoras. Esta reacción al estímulo del input hídrico puede explicarse también por el alto contenido de materia orgánica en el horizonte A. La estrecha relación entre la materia orgánica (que en este perfil alcanza 8,8%) y los procesos de reducción es bien conocida.

Con leves variaciones, la misma tendencia muestran los electrodos de -40 cm y -80 cm (Fig. 22). Esta es, pues, la estación que mejor muestra los resultados esperados en la relación nivel freático-potencial redox.

Este cauce abandonado ofrece los datos de conductividad eléctrica más bajos, 3,7 mS cm⁻¹ en noviembre y 0,7 en diciembre (Fig. 23). Probablemente sea debido a una especial virulencia en el lavado, a pesar de la falta de escorrentía de la que hacen gala los viejos canales.

PROPUESTA DE UN MODELO EXPLICATIVO

La importante presencia de carbonatos y sales, especialmente de sulfatos (yeso), en todas las muestras estudiadas ha llevado a la necesidad de producir un modelo de comportamiento de los suelos que pudiera explicar las características mostradas por los mismos en las propiedades de redox, conductividad y demás. Todo deriva de tener que admitir una *permeabilidad variable* en función del paso del agua a través del perfil y de la consiguiente disolución de las sales (Jafarzadeh y Burham, 1992).

Se parte del supuesto de un suelo absolutamente sellado por la cristalización de todos los elementos y compuestos halomorfos y calcimorfos. En tales circunstancias las muestras estudiadas en micromorfología (Benayas et al., 1988; Porta y Herrero, 1988) hasta ahora ofrecen un panorama de grandes cristales de yeso (a modo de lentejas, por la parcial disolución de sus caras) y una matriz micrítica de carbonatos con yeso.

Una vez ingresada el agua en el perfil y dada la solubilidad mayor del yeso a la de los carbonatos cálcicos, se irían produciendo poros progresivamente mayores. Este estadio terminaría con la posibilidad de que un agua acidulada, fundamentalmente por la presencia de CO₂ fruto de la respiración de las plantas, aumentase el tamaño de los poros hasta un grado máximo, al disolver también los carbonatos.

Es de suponer que durante la evaporación se produciría el proceso igual aunque en sentido inverso: precipitado de los carbonatos y los yesos hasta cerrar casi todos los poros e impedir la aireación del suelo.

El modelo que se ha presentado debe combinarse con las *diferencias de velocidad* a las que frecuentemente se ve sometido el proceso general. Así, una evaporación rápida (por ejemplo, en verano) dará como resultado la génesis de cristales pequeños, e incluso una micromasa criptocristalina (micrita vista en las láminas). Por el contrario, un proceso lento de pérdida de agua, tal y como se supone podría efectuarse en invierno con vientos fuertes, originaría el crecimiento lento de los cristales y que éstos adquirieran proporciones de fenocristal.

La realidad comentada al comienzo de este párrafo es la de un gran crecimiento de los yesos y apenas los carbonatos. Por ello, se piensa que existe una notable evolución en los últimos tiempos, por la que los grandes cristales de yeso ya no se originan hoy en día, debido a la inexistencia de agua de inundación que sea capaz de barrer en su totalidad el perfil. Por el contrario, los escasos inputs de tipo pluvial, apenas son capaces de solubilizar las fracciones más pequeñas (recuérdese que a menor tamaño de cristal, mayor superficie potencial de ataque, y por ende, mayor rapidez en la disolución).

La influencia de este comportamiento en las variaciones del redox se ponen de manifiesto en que sólo la llegada desde arriba de agua cargada de oxígeno atmosférico es capaz de ocasionar una bajada de los valores del potencial de oxidación-reducción, por lo que el influjo de las aguas freáticas apenas se manifiesta en los electrodos superficiales. Al propio tiempo, conforme el agua descendente se va cargando en sales disueltas, tanto menor es la capacidad de contener oxígeno. Se dan, así, conjugados dos procesos, uno físico y otro biológico: a) disminución del contenido de O_2 en el agua descendente, y b) toma de oxígeno por los seres vivos, por lo que crece la anoxia con el tiempo.

Las aguas freáticas o subsuperficiales deben desplazar en su ascenso al aire que rellenaría los poros, al propio tiempo que ensancha los mismos por disolución. Así se puede explicar que haya casos de redox controlado por las oscilaciones de los niveles piezométricos. En estas circunstancias se desarrollaría el modelo general que hace coincidir los ascensos de agua freática con las disminuciones del potencial redox. No obstante, la importante presencia de los túneles y conductos de subfosión podría estar en el origen de la llegada masiva de oxígeno al suelo. Máxime teniendo en cuenta que la comunicación de los «pipes» con el río es directa, y los niveles de oxidación en las batidas aguas fluviales suelen sobrepasar el 100%.

BIBLIOGRAFÍA

- Benayas, J.; Guerra, A.; Batlle, J., y Gumuzzio, J. (1988): «Micromorfología de algunos suelos con acumulaciones de sales en la región central española (Toledo, Ciudad Real). *An. Edaf. Agrobiol.*, 47, 221-241.
- Bohn, H.L. (1971): «Redox potentials». *Soil Sci.*, 112, 39-45.
- Breemen, N. van (1969): «The effect of ill-defined ferric oxides on the redox characteristics of flooded soils». *Neth. J. Agric. Sci.*, 17, 256-260.
- Buol, S.W., y Robertus, R.A. (1988): «Soil formation under hydromorphic conditions». En Hook, D.D., et alia (edit): «Ecology and management of wetlands». Vol. I: «Ecology of wetlands». Croom Helm, Beckenham, 253-262.

- Carlevarias, J.J., et alia (1992): *La fertilidad de los principales suelos agrícolas de la zona oriental de la provincia de Ciudad Real, La Mancha y Campo de Montiel*. Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC y Consejería de Agricultura de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. Madrid, 294 pp.
- Delaune, R.D.; Reddy, C.N., y Patrick, W.H. Jr. (1981): «Organic matter decomposition in soils as influenced by pH and redox conditions». *Soil Biol. Biochem.*, 13, 533-543.
- Dirks, B. (1940): «Das Redoxsystem des Bodens, ein neuer Wachstumsfaktor von ausschlaggebender Bedeutung und zwei weitere Wachstumsfaktoren des Bodens». *Bodenkunde und Pflanzenernährung*, 21/22, 684-697.
- Dorronsoró, C.; Alonso Rojo, P., y Rodríguez Rebollo, T. (1988): «La hidromorfía y sus rasgos micromorfológicos». *An. Edaf. y Agrobiol.*, 47, 243-278.
- Dupuis, J. (1952): «Le point des connaissances actuelles sur le potentiel d'oxydo-réduction des sols». *Bull. de l'Assoc. Franç. pour l'Etude du Sol.*, 1-19.
- Ferreras Chasco, C. (1986): «Los tarayales españoles y su significación paisajística». *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, n.º 6, 185-201.
- Gambrell, R.P., y Patrick, W.H. Jr. (1978): «Chemical and microbiological properties of anaerobic soils and sediments». En Hook, D.D., y Crawford, R.M.M.: «Plant Life in Anaerobic Environments». *Ann. Arbor. Sci. Publ.*, 345-423.
- Gambrell, R.P., y Patrick, W.H. Jr. (1988): «The influence of redox potential on the environmental chemistry of contaminants in soils and sediments». En Hook, D.D., et alia (edit): «Ecology and management of wetlands». Vol. I: *Ecology of wetlands*. Croom Helm, Beckenham, 319-333.
- García Rodríguez, M., y Llamas Madurga, M.R. (1992): «Aspectos hidrogeológicos en relación con la génesis y combustión espontánea de las turbas en los "Ojos" del Guadiana». *Actas III Congreso Geológico de España y VIII Latinoamericano de Geología*, Salamanca, tomo 2, 285-289.
- González Bernáldez, F. (1993): *Los paisajes del agua. Terminología popular de los humedales*. J. M. Reyero Editor, Madrid, 257 pp.
- Gutiérrez Ríos, E. (1944): «Acerca del potencial redox en los suelos». *Anales del Inst. de Edaf. y Ecológ. Biol.*, 50-58.
- Harrison, A.F.; Latter, P.M., y Walton, D.W.H. (edit.) (1987): *Cotton strip assay. An index of decomposition in soils*. (ITE Symposium n.º 24). Grange-over-Sands, Institute of Terrestrial Ecology.
- Harvey, A.M. (1982): «The role of piping in the development of badlands and gully systems in south-east Spain». En Bryan, R., y Yair, A. (eds.): *Badland Geomorphology and Piping*. Norwich. Geobooks, 317-335.
- Jafarzadeh, A.A., y Burham, C.P. (1992): «Gypsum crystals in soils». *Journal of Soil Science*, 43, 409-420.
- Latter, P.M., y Howson, G. (1977): «The use of cotton strips to indicate cellulose decomposition in the field». *Pedobiologia*, 17, 145-155.

- Lindley, D.K., y Howard, D.M. (1988): «Some statistical problems in analysing cotton strips assay data». En Harrison et alia, *op. cit.*, 25-27.
- López Bermúdez, F., y Romero-Díaz, M.A. (1989): «Piping erosion and badland development in SE-Spain». En Yair, A., y Berkowicz, S. (edit): *Arid and semi-arid environments: Geomorphological and Pedological Aspects*. Catena Supplm. 14, 59-73.
- Maltby, E. (1988): «Use of cotton strip assay in wetland and upland - an international perspective». En Harrison et alia, *op. cit.*, 140-154.
- Maltby, E. et alia (1991): «Nutrient Dynamics and Functional Analysis of European Wetlands». *Wetland Evaluation Research Group, Report n.º 9*. Department of Geography. University of Exeter, 257 pp.
- Monturiol, F. et alia (1984): *Estudio agrobiológico de la provincia de Toledo*. Inst. Edafol. Biol. Veg. e Inst. Prov. Invest. Est. Toledanos. Toledo.
- Navarro, N.; Pedrosa, A., y Almogea, S. (1986): «Formas de determinar el potencial redox y su variación durante la inundación de suelos». *Ciencias de la Agricultura*, 28, 99-104.
- Pearsall, W.H. (1938): «The soil complex in relation to plant community: I. Oxidation-reduction potentials in soils». *Journal of Ecology*, 26, 180-193.
- Pearsall, W.H., y Mortimer, C.H. (1939): «Oxidation-reduction potentials in waterlogged soils, natural water and muds». *J. Ecology*, 27, 483-501.
- Pierce, G.J. (1989): «Wetland Soils». En Majumbar, S.K. et alia: *Wetlands Ecology and Conservation: Emphasis in Pennsylvania*. The Pennsylvania Academy of Science.
- Porta, J., y Herrero, J. (1988): «Micromorfología de suelos con yeso». *An. Edaf. y Agrobiol.*, 47, 179-199.
- Quispel, A. (1947): «Measurement of oxidation-reduction potentials of normal and inundated soils». *Soil Science*, vol. 63, 265-275.
- Sanz Donaire, J.J. (1989): «Wetlands and ponds of La Mancha». *Workshop sobre Humedales, Funciones y Valores*. Universidad de Exeter (Reino Unido).
- Sanz Donaire, J.J. (1990 a): «Origen y evolución de los humedales manchegos». *Ciclo de Conferencias sobre Lagunas manchegas*. Alcázar de San Juan, Ciudad Real. Junio.
- Sanz Donaire, J.J. (1990 b): «Uniqueness of Spanish saline and hypersaline wetlands and "lagunas"». *Workshop sobre Humedales*. Zeist. Universidad de Utrecht.
- Sanz Donaire, J.J., y García Rodríguez, M.ª P. (1991): «Desaertización, erosión y degradación de suelos». *Situación*. Rev. del BBV, n.º 2, Número Monográfico dedicado al Medio Ambiente, 55-71.
- Sanz Donaire, J.J., y Pérez González, M.ª E. (1991): «Dinámica de nutrientes y evaluación funcional de ciertos ecosistemas de humedales españoles. Report enviado a Bruselas. Proyecto STEP de las Comunidades Europeas, 230 pp. mecanografiadas.

- Sanz Donaire, J.J. (1992): «Descriptive and Functional Wetland Typology and Classification». *Workshop on Wetland Analysis and Management*. University of Harvard, EE.UU. A. 21 pp. (en prensa en Wiley).
- Sanz Donaire, J.J., y Díaz Alvarez, M.^oD. (1992): «Génesis y funcionalidad geomorfológica de los humedales». *Anales de Geografía de la Universidad Complutense de Madrid*, n.^o 12, pp. 93-103.
- Schalles, J.F. (1989): «The chemical environment of wetlands». En Majumbar, S.K. et alia: *Wetlands Ecology and Conservation: Emphasis in Pennsylvania*. The Pennsylvania Academy of Science.
- Soriano, M.^oD.; Colica, A., y Torri, D. (1992): «Estudio preliminar de la influencia de la estructura y propiedades de los materiales de la evolución de badlands». *Actas de la II Reunión Nacional de Geomorfología*. Sociedad Española de Geomorfología. Tomo I, 183-191.
- Thibodean, F.R., y Nickerson, N.H. (1986): «Differential oxidation of mangrove substrate by *Avicennia germinans* and *Rhizophora mangle*». *Am. Journ. of Botany*, 73 (4), 512-516.
- VV.AA. (1992): «La Mancha: un espacio del agua». *Conferencias organizadas por el Módulo de Promoción y Desarrollo (1989-1992)*. Escuela-Taller «Santa Ana», Alcázar de San Juan, 115 pp.
- Volk, N.J. (1939 a): «The determination of redox potentials of soils». *Journ. of the Amer. Soc. of Agronom.*, vol. 31, 344-351.
- Volk, N.J. (1939 b): «The oxidation-reduction potentials of Alabama soils affected by soil type, soil moisture, cultivation and vegetation». *Journ. of the Amer. Soc. of Agronom.*, vol. 31, 7, 577-589.
- Yu, Tien-Jen, y Li, Sung-Hua (1956): «Studies on oxidation-reduction processes in paddy soils. I. Conditions affecting redox potentials; y II. Mutual influences between soil and plant». *Report 6th Intern. Congr. Soil Science*, 24 pp.

RESUMEN

Este trabajo aborda la relación existente entre ciertos parámetros del suelo, especialmente el potencial redox, el pH y la conductividad, con ciertas alusiones a la descomposición de la materia orgánica, y las características salinas de suelos de humedales en los casos de la Mancha estudiados. Se propone un modelo de permeabilidad cambiante por disolución y recristalización de los yesos y carbonatos presentes en el perfil para los primeros centímetros, así como la fluctuación del nivel freático y los conductos de subfosión para el comportamiento en profundidad.

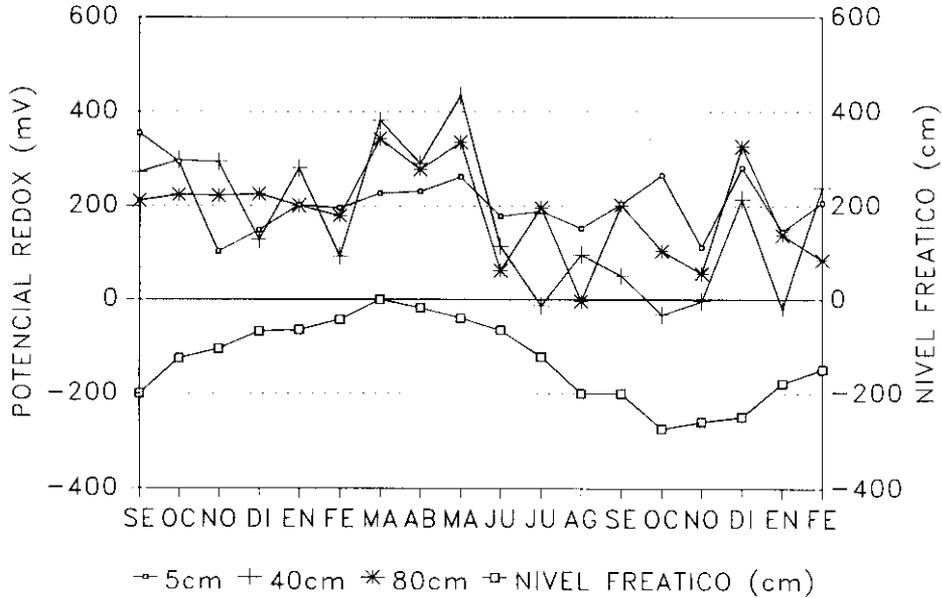
SUMMARY

This paper shows the existing relations among some soil parameters and properties and the saline characteristics of wetland soils in La Mancha region (Central Spain). Special emphasis has been put on redox potential, pH, electrical conductivity and organic matter decay, as shown by the cotton strip technique. A model based upon the changing permeability caused by solution and further recrystallization of gypsum and calcium carbonate is proposed for the first centimetres of the soil profile, as well as the up and down movements of the water table and the great importance of piping processes for explaining the behaviour at the soil bottom.

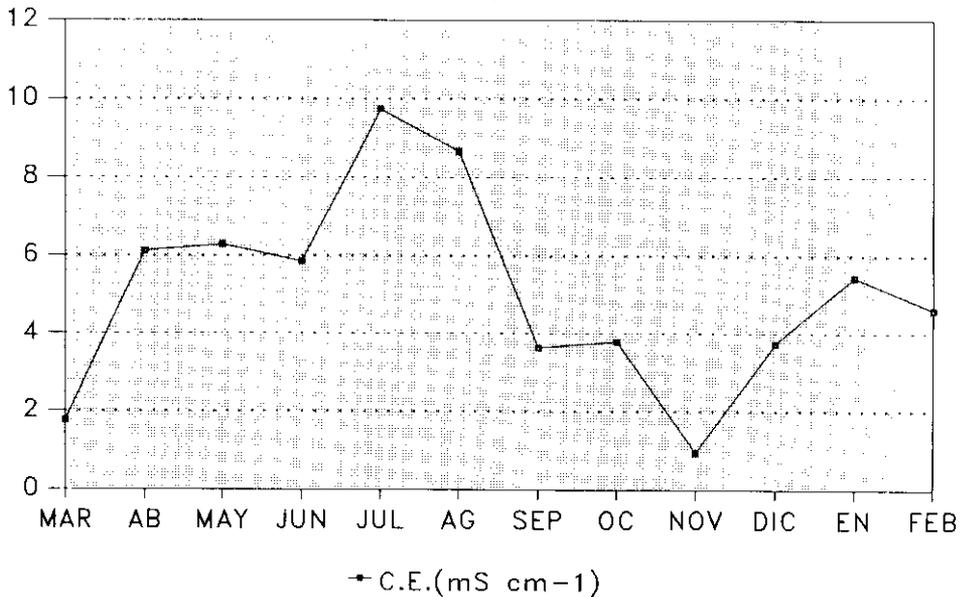
RESUME

Ce travail présente les relations entre quelques paramètres et propriétés des sols et les caractéristiques salines des zones humides à la région espagnole central de La Mancha. On a posé spécial intérêt sur le potentiel redox, le pH, la conductivité électrique et la décomposition de la matière organique avec la technique du ruban à coton. On propose un modèle fondé sur une perméabilité changeable à cause de la dissolution et la recristallisation du gypse et des carbonates dans les premiers centimètres du profil, le même que les fluctuations du niveau phréatique et l'important processus de la suffosion à l'explication du comportement des endroits profonds du sol.

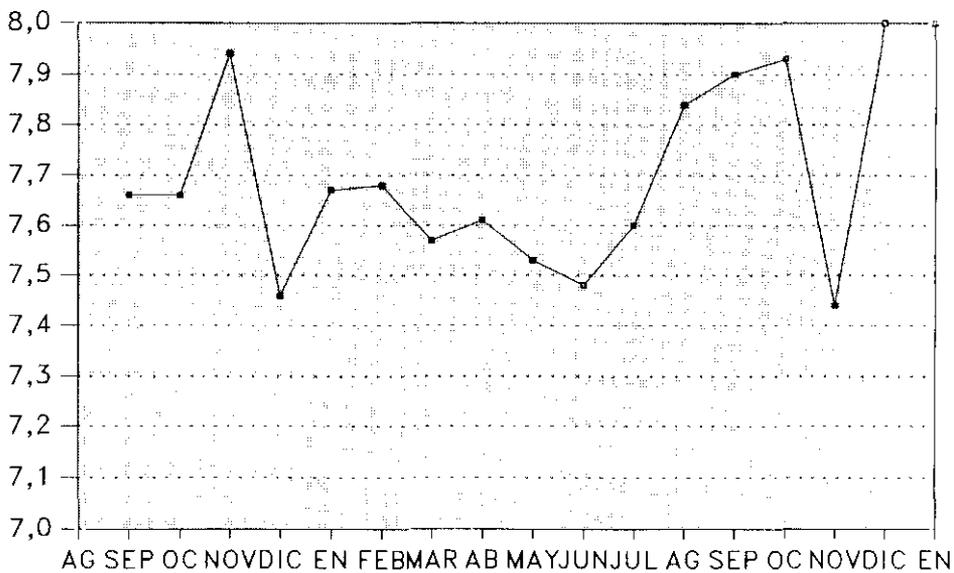
POTENCIAL REDOX «Masegar 1»



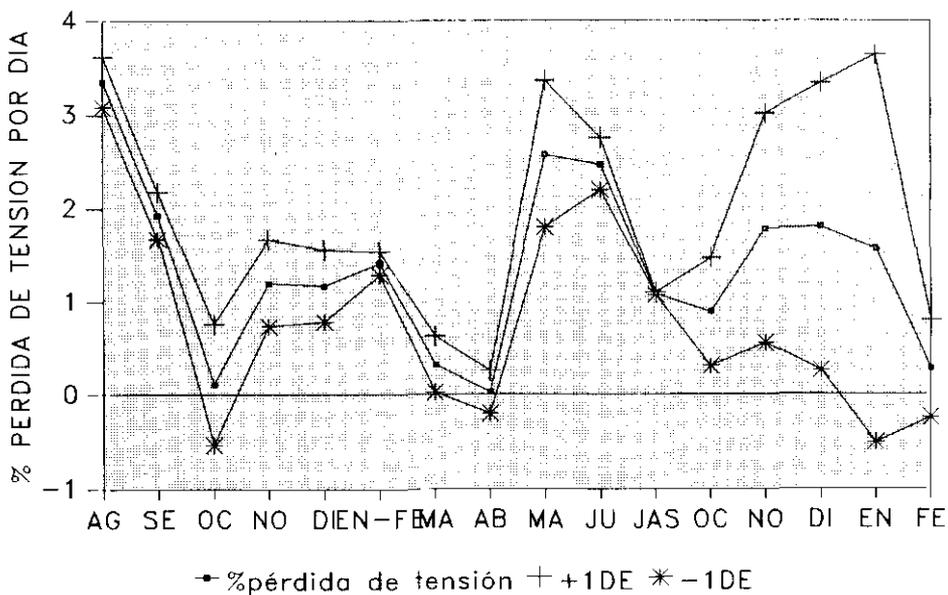
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA «Masegar 1»



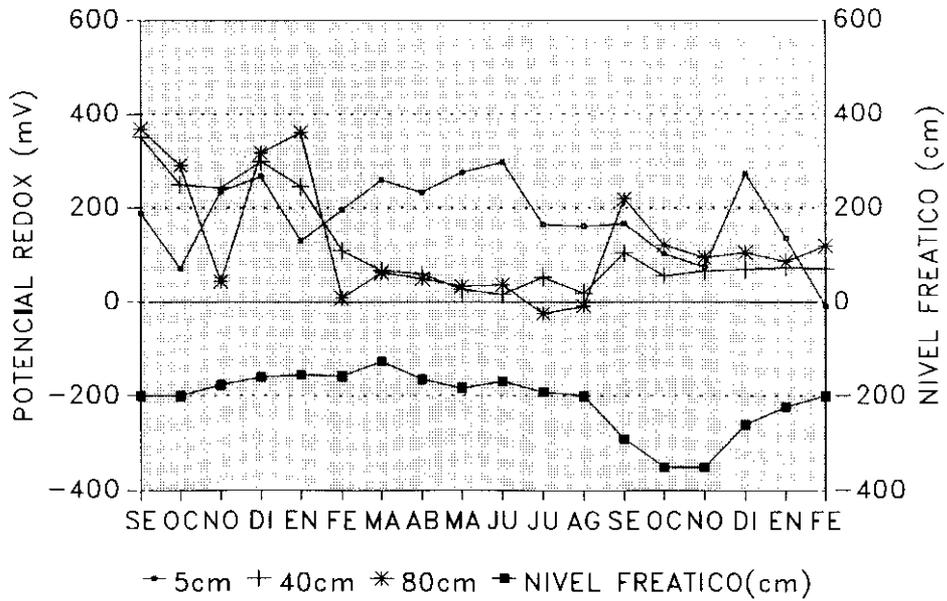
pH
«Masegar 1»



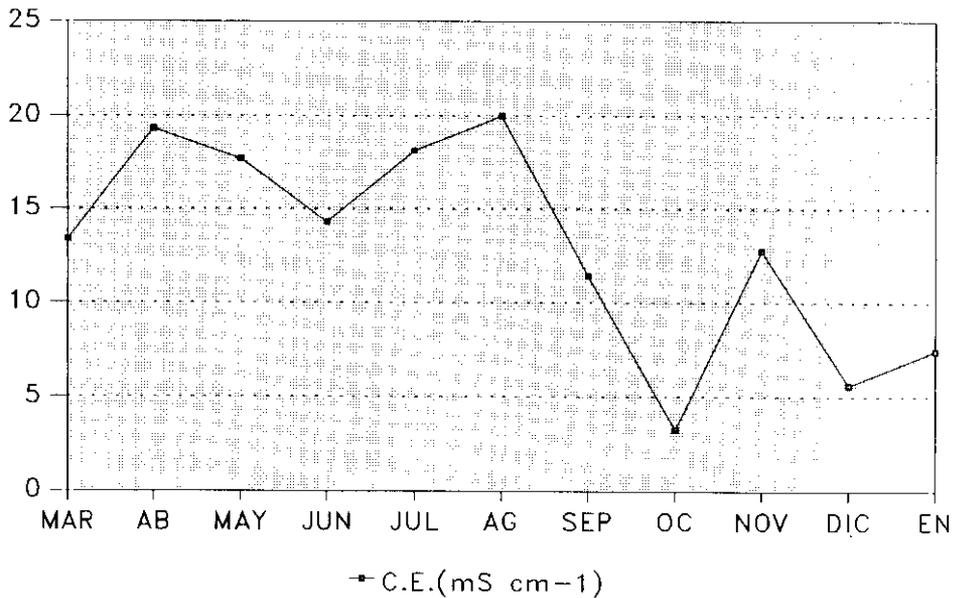
PERDIDA DE TENSION DIARIA
«Masegar 1» 2 – 4 cm



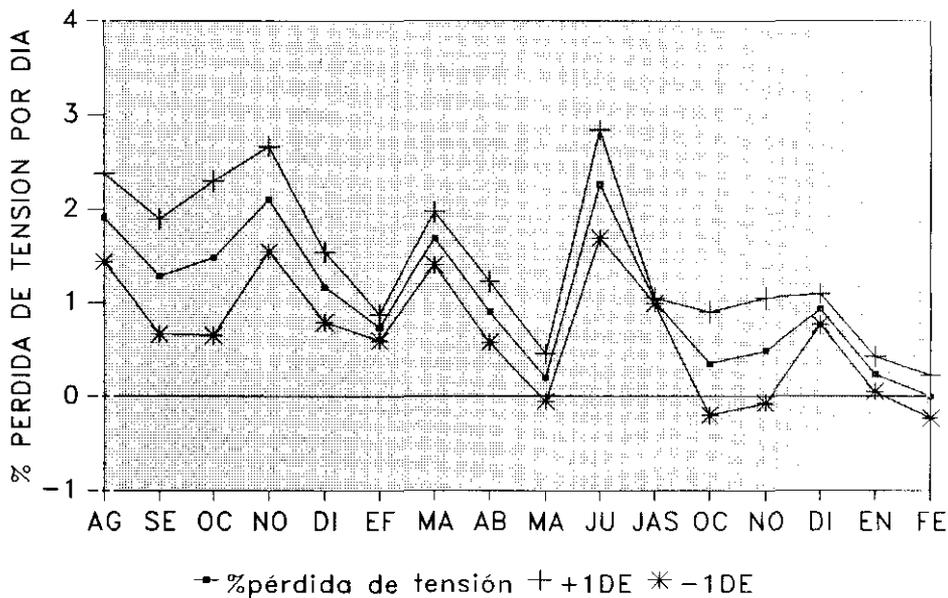
POTENCIAL REDOX «Molino 1»



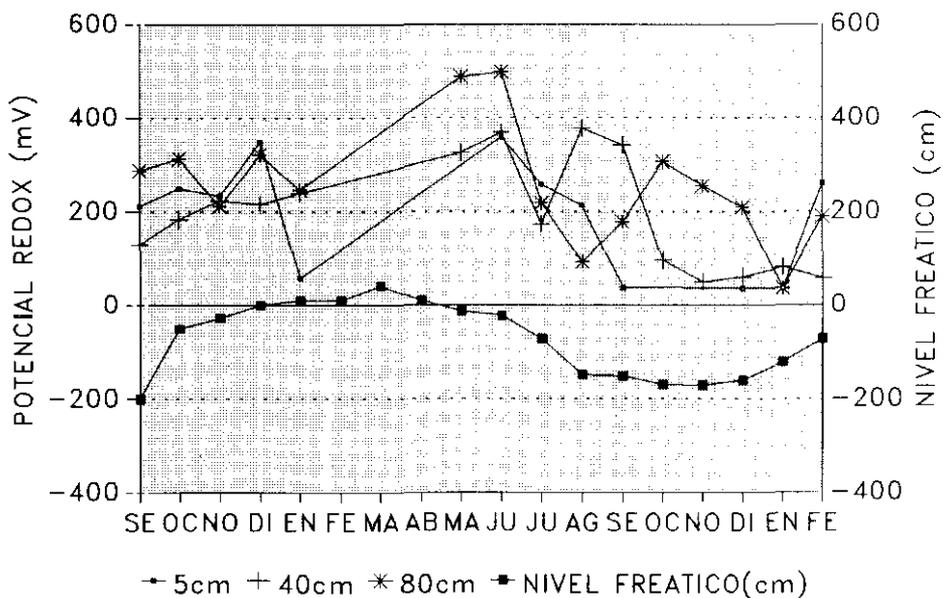
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA «Molino 1»



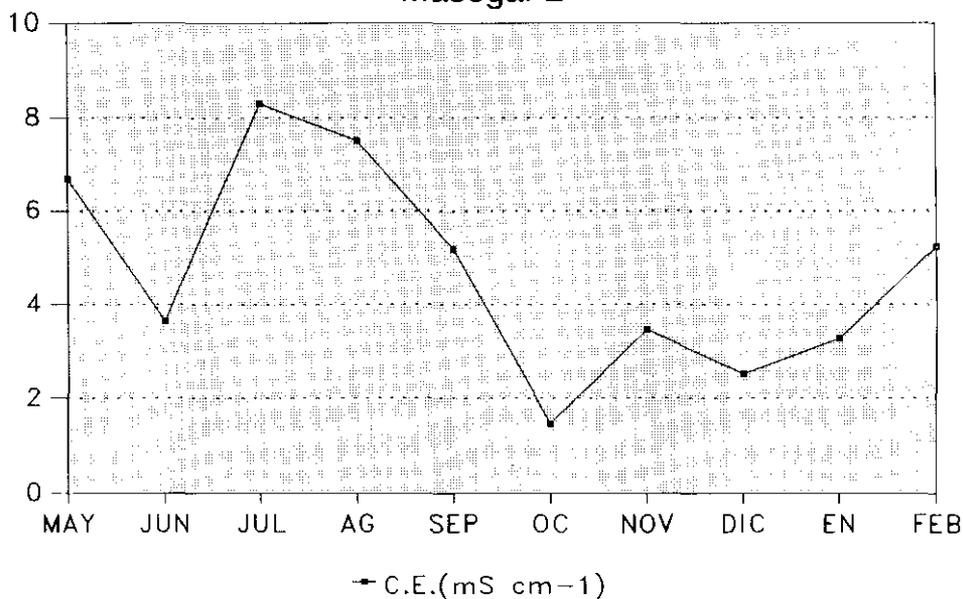
PERDIDA DE TENSION DIARIA «Molino 1» 4 – 6 cm



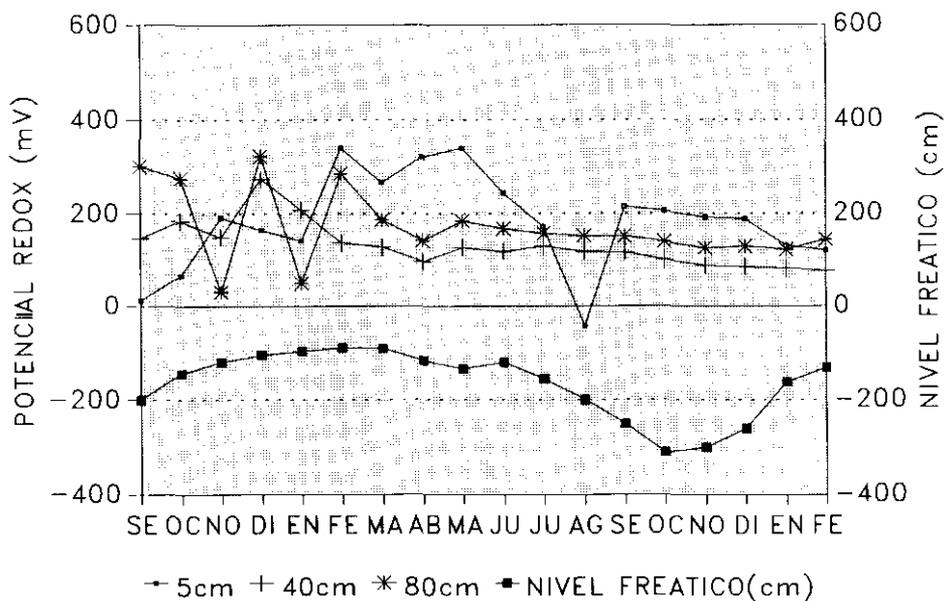
POTENCIAL REDOX «Masegar 2»



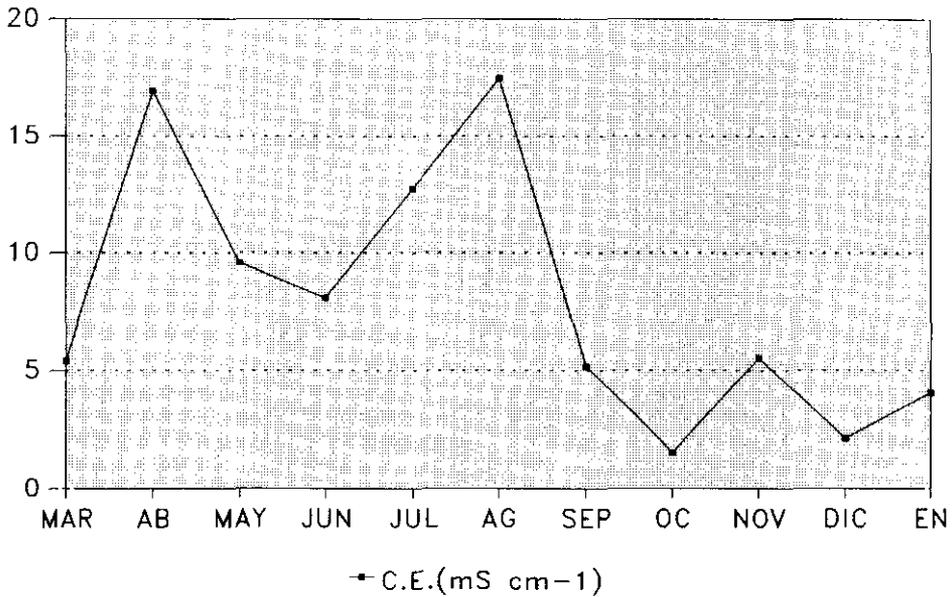
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA «Masegar 2»



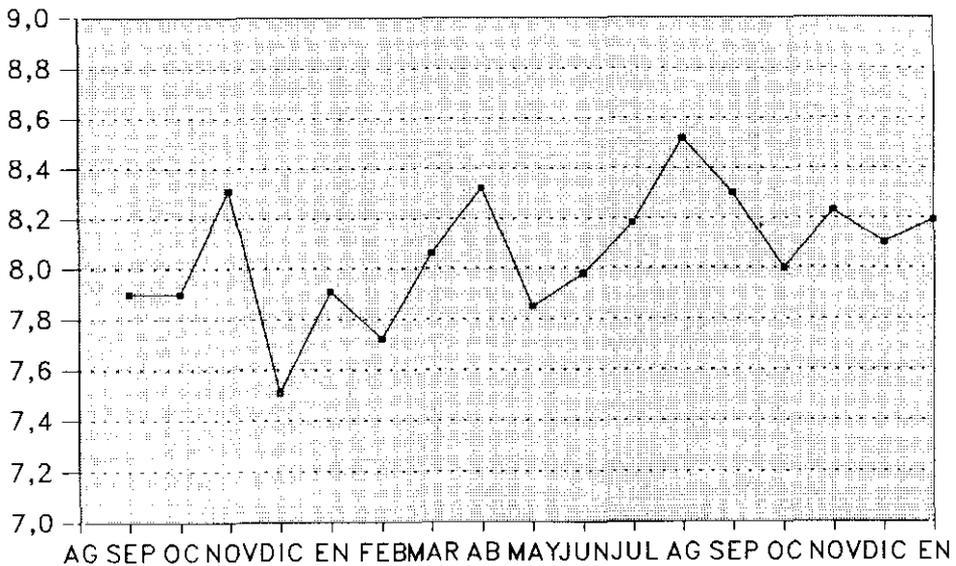
POTENCIAL REDOX «Molino 2»



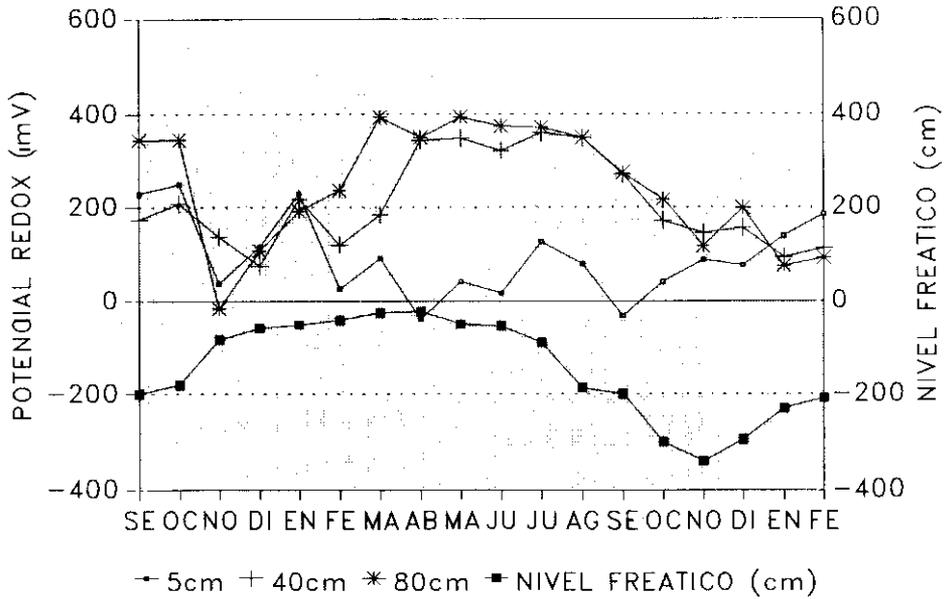
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA «Molino 2»



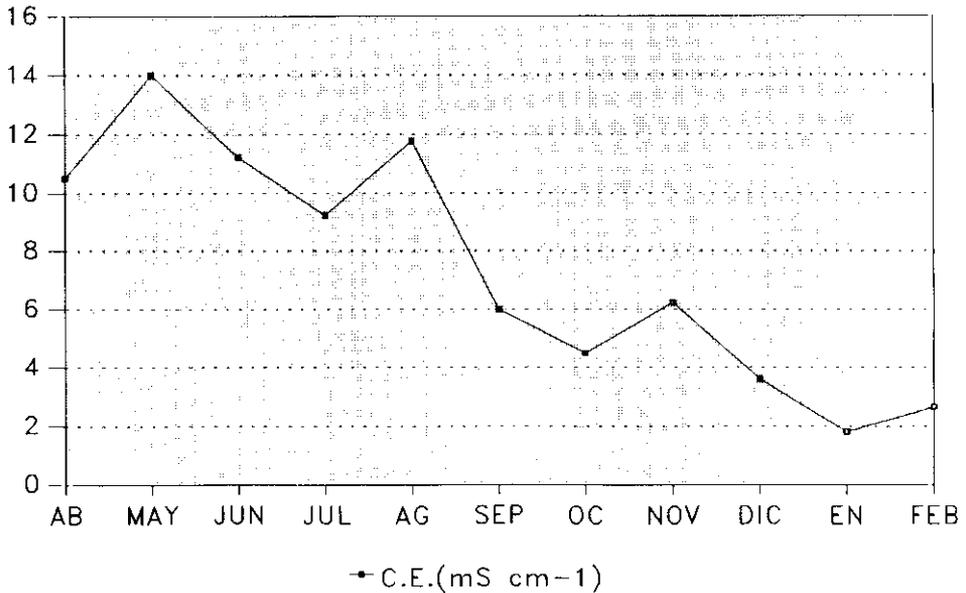
pH «Molino 2»



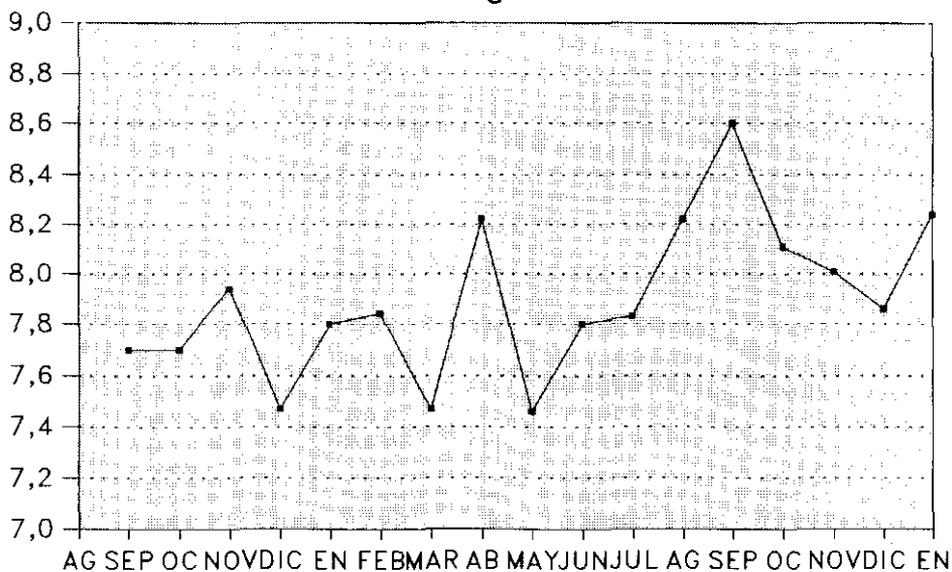
POTENCIAL REDOX «Masegar 3»



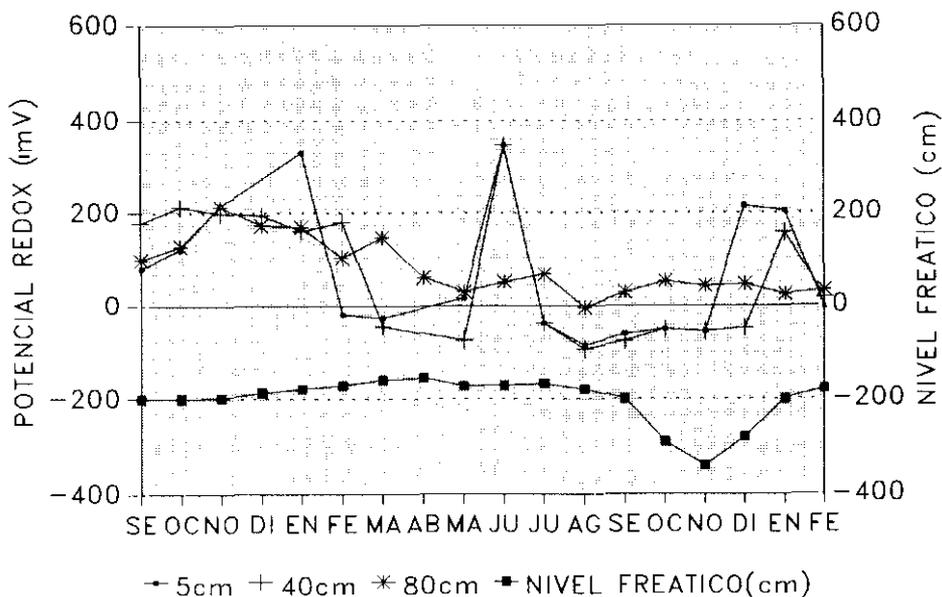
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA «Masegar 3»



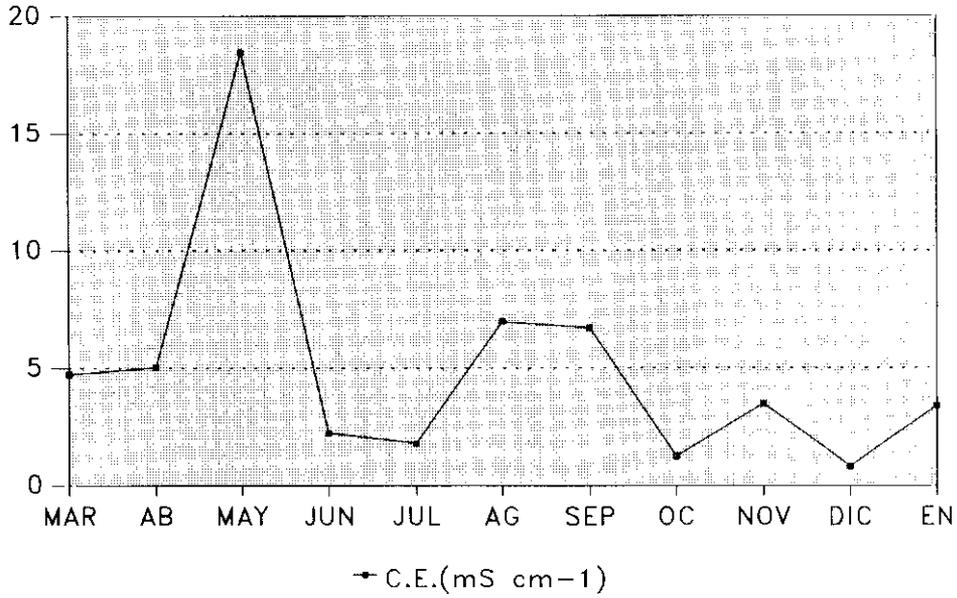
pH
«Masegar 3»



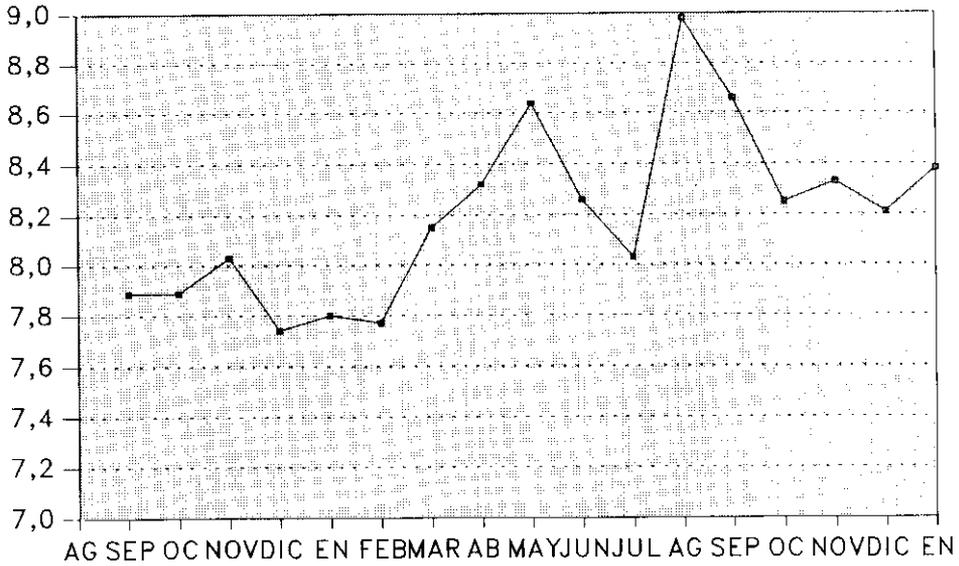
POTENCIAL REDOX
«Molino 3»



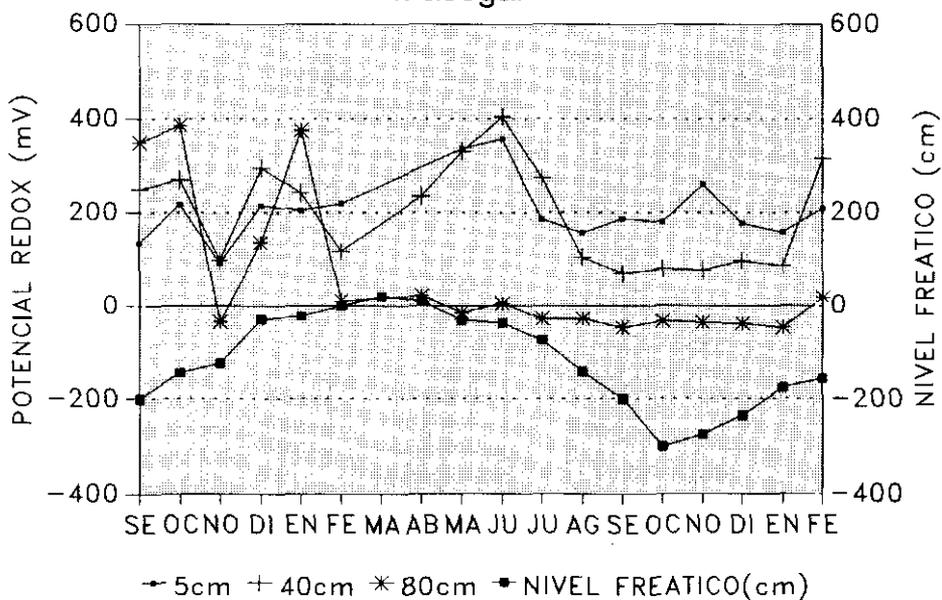
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA «Molino 3»



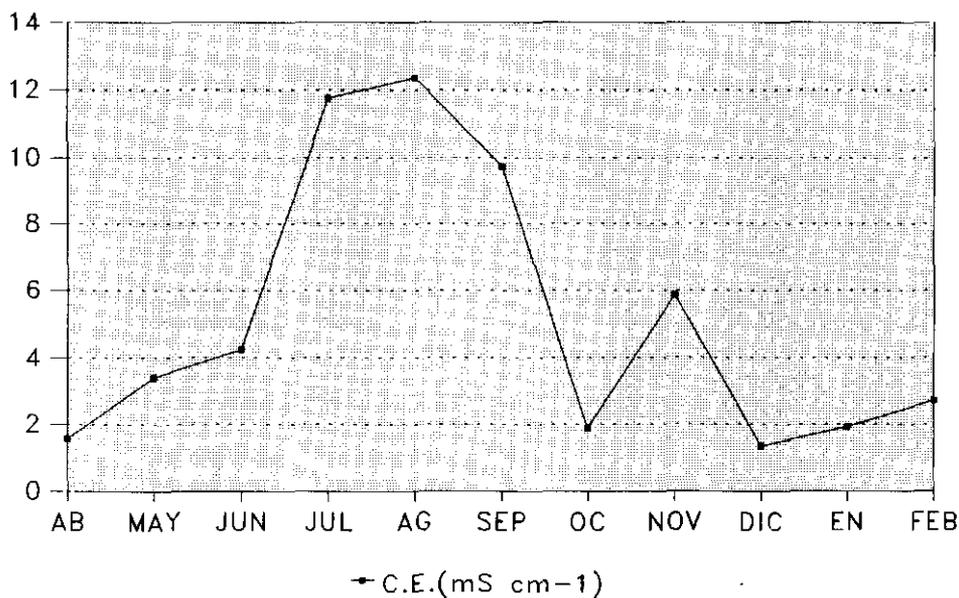
pH «Molino 3»



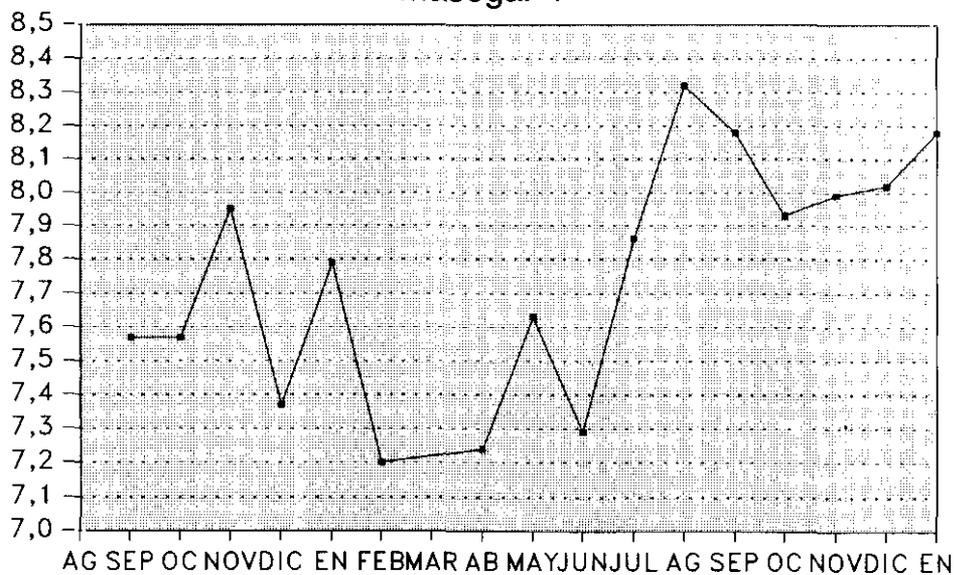
POTENCIAL REDOX «Masegar 4»



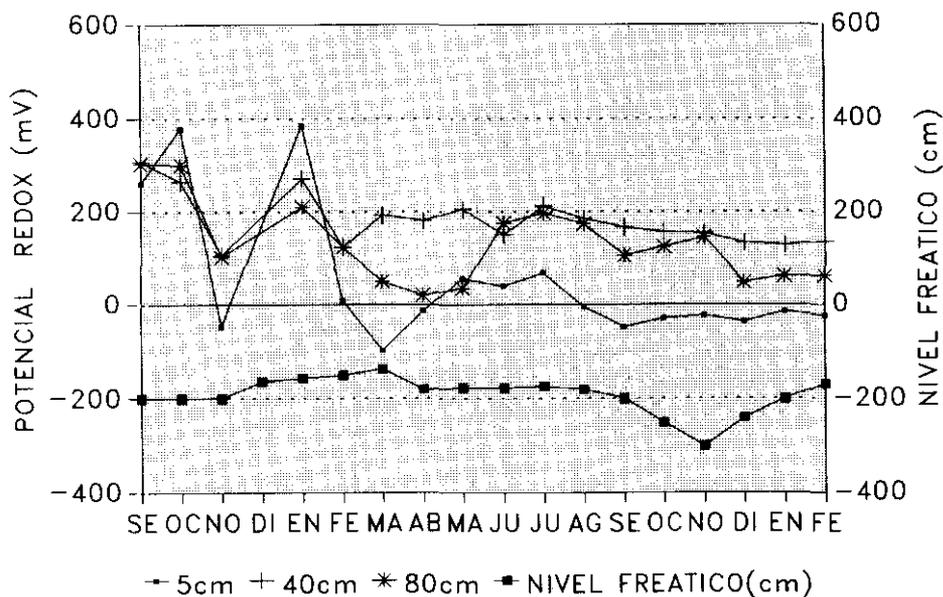
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA «Masegar 4»



pH
«Masegar 4»



POTENCIAL REDOX
«Molino 4»



CONDUCTIVIDAD ELECTRICA «Molino 4»

