
APLICACIONES BIOESTADÍSTICAS



En el mundo se cultivan unos 10 millones de hectáreas de olivar, enmarcadas principalmente en la cuenca mediterránea. El olivar español se caracteriza por la extensión que ocupa y por la antigüedad de las plantaciones. En la provincia de Jaén el cultivo del olivar representa grandes extensiones de monocultivo debido a las condiciones climáticas específicas. Una buena parte de la superficie agraria ocupada por el olivar mantiene unas técnicas de cultivo que no se adaptan a las condiciones socioculturales de la actualidad, siendo muchas zonas poco productivas. Además de este problema, es patente la creciente problemática de erosión de los suelos, contaminación de acuíferos, pérdida de biodiversidad, introducción de elementos florísticos invasores, desequilibrios poblacionales de plagas debido a la pérdida de ecosistemas, etc. Por estos motivos es necesaria la implantación de una agricultura que respete el medio ambiente y además que sea rentable para el agricultor, en definitiva lo que se define como agricultura sostenible.

El estudio de los bioindicadores ecológicos es una buena herramienta para la implantación de una agricultura sostenible. A partir del estudio minucioso de la flora arvense del olivar y del análisis del suelo en el que las asociaciones vegetales se encuentran -el cual se caracteriza por los valores de parámetros edáficos tales como capacidad de intercambio catiónico, carbonatos, calcio de cambio, fósforo asimilable, magnesio de cambio, materia orgánica oxidable, nitrógeno total, pH, potasio de cam-

bio, capacidad de filtración de agua (pF 1/3 atmósferas, pF 15 atmósferas), textura (de arcilla, limo o arena), conductividad eléctrica, sodio, tamiz y salinidad-, es interesante conocer si existe relación entre la presencia de un determinado taxón, en asociaciones fitosociológicas, y determinadas propiedades o la presencia de elementos en el suelo de un olivar. De esta forma podemos hacer tratamientos de relevancia y planes de gestión para que se obtengan beneficios tanto ecológicos como económicos si se mantienen las cubiertas vegetales naturales. De este modo podemos hacer compatible la producción con el mantenimiento de la flora, ya que la presencia de determinadas especies vegetales podría ser utilizada como herramienta para conocer el estado nutricional del suelo y, de este modo, los agricultores pueden conocer la necesidad o no de aporte de fertilizantes con sólo conocer el tipo de flora presente en su parcela de cultivo. Pero obtener la información que nos permita relacionar la presencia de una especie con el estado nutritivo del suelo para aplicaciones futuras no es un abordaje sencillo. En primer lugar hay que realizar un muestreo adecuado para obtener los inventarios fitosociológicos y analizar las muestras edáficas obtenidas de las mismas parcelas. Los inventarios fitosociológicos pueden llegar a incluir cientos de especies (y muy diferentes según el tipo de asociación vegetal) y los parámetros edáficos básicos son los 18 anteriormente citados. Es por ello que se hace necesario el uso de diferentes técnicas estadísticas, desde las básicas descriptivas y multivariantes hasta la aplicación de métodos robustos avanzados.



Figura 1. Olivos.

Los ejemplos de aplicaciones bioestadísticas que se muestran a continuación corresponden a los resultados obtenidos en una investigación real llevada a cabo en parcelas de cultivo de olivar en el sur de España. Se realizaron muestreos de diez asociaciones fitosociológicas, y para cada una de ellas se levantaron entre 19 y 21 inventarios (en total 204 inventarios). El número medio de especies diferentes detectadas en cada inventario fue de unas 12, y el número total de especies detectadas teniendo en cuenta todas los inventarios fue de 301 (hay que tener en cuenta que hay especies puede detectarse en diferentes parcelas). La presencia de cada especie se caracteriza numéricamente por su índice de abundancia/dominancia, que presenta un rango de 0 a 9, donde cero indica su no presencia y 9 una abundancia en el inventario de entre el 90-100%. El número de atributos edáficos analizados por

parcela fue de 18 (los citados previamente), y las unidades de medida de cada uno de ellos se indican en las tablas de resultados.

A continuación se muestran los resultados obtenidos según el tipo de análisis estadístico realizado. Los datos originales pueden ser solicitados a los autores siempre que se utilicen con fines académicos.

0.1. Análisis de correlación

En primer lugar, y con el fin de encontrar la posible existencia de una relación cuantitativa y cualitativa existente entre las diferentes parcelas atendiendo sólo a las especies presentes, se puede realizar un análisis de correlación múltiple, de modo que se obtenga el coeficiente de correlación entre parcelas y el p -valor de significación de correlación.

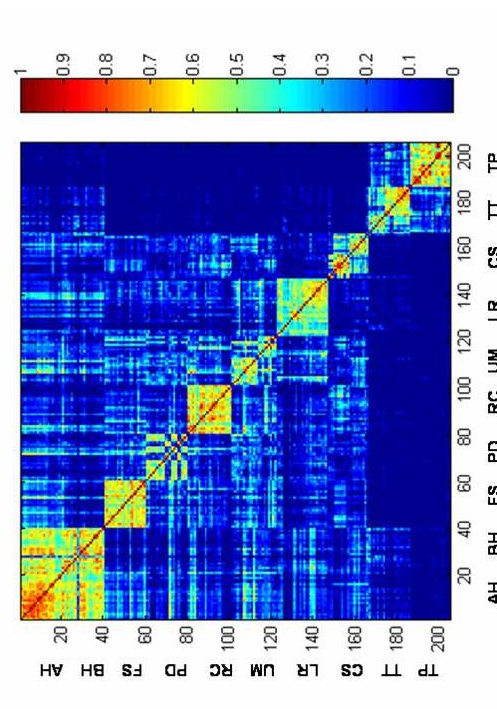


Figura 2. Mapa de color de la correlación fitosociológica existente entre los inventarios de las asociaciones estudiadas, donde se muestra el rango de variación del coeficiente de correlación (desde el azul (0) hasta el rojo oscuro (1)). *AH: Anacyclo clavati-Hordeetum leporini nova; BH: Bromo scoparii-Hordeetum leporini; FS: Fedio cornucopiae-Sinapietum mairei; PD: Papaveri rhoeadis-Diplotaxietum virgatae; RC: Resedo albae-Chrysanthemetum coronarii; UM: Urtico urentis-Malvetum neglectae; LR: Linario spartei-Raphanetum raphanistrii nova; CS: Carduo bourgaeani-Silybetum mariani; TT: Trifolio cherleri-Taeniatheretum capitis-medusae; TP: Trifolio cherleri-Plantaginetum bellardii.*

Esta comparación se puede estudiar con una matriz de datos que contenga los índices de abundancia-dominancia en la que cada fila de la matriz corresponde a una especie

(observación) y cada columna a un inventario (variable). Estos datos los podemos representar mediante un gráfico de colores (Figuras 2 y 3).

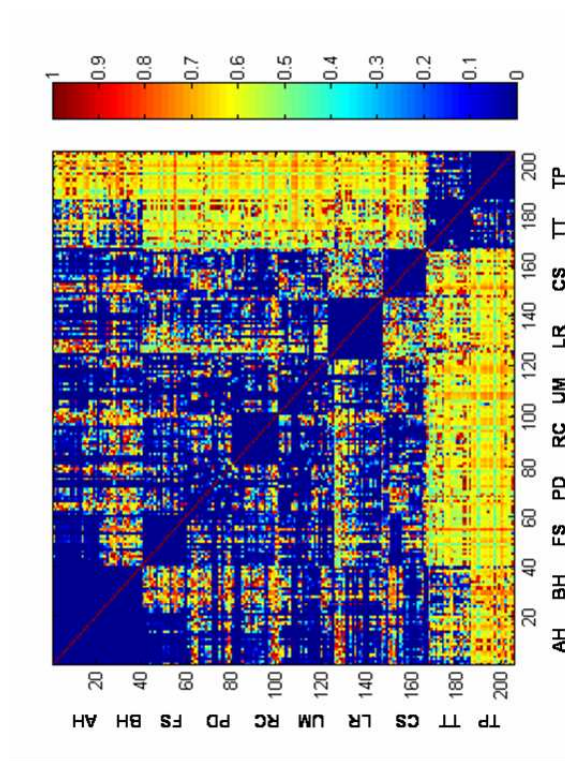


Figura 3. Mapa de color del nivel de significación estadística (p -valor) asociada a la correlación entre los inventarios de las asociaciones estudiadas. El color azul oscuro indica p -valores inferiores a 0.05 mostrándonos que la correlación entre esos inventarios es estadísticamente significativa.

0.2. Análisis de conglomerados

Con el fin de formar grupos (conglomerados, o cluster en la terminología anglosajona) en los que clasificar las parcelas según sus características fitosociológicas, y de manera que los datos (especies) de cada uno de los grupos, sean lo más similares posibles y los grupos (de parcelas) lo más diferentes posibles los unos de otros, realizamos un Análisis de Conglomerados. Esta es una técnica orientada a la clasificación cuando no existe un criterio previo establecido. Para el agrupamiento de todos los datos se elabora una matriz de similitudes o de distancias. Lo que varía de una técnica a otra son las reglas utilizadas para construir la matriz (en nuestro caso correlación centrada) y el tipo de agrupamiento elegido para elaborar los cluster (utilizamos el agrupamiento jerárquico de tipo completo). En el caso del análisis general de las parcelas, los resultados obtenidos mostraron cómo el análisis multivariante permite agrupar de modo adecuado las parcelas sobre la base de sus características fitosociológicas (Figura 4).

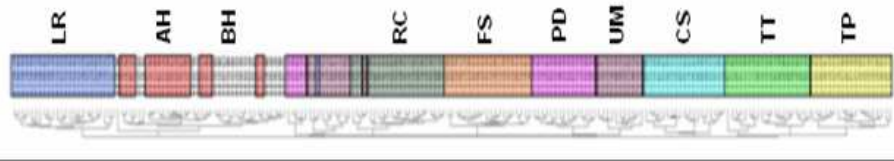


Figura 4. Análisis de conglomerados general para las parcelas estudiadas.

0.3. Estadística descriptiva

Hemos utilizado métodos de estadística clásica para obtener los siguientes estadísticos descriptivos de cada uno de los parámetros edáficos por asociación: media, mediana, varianza, desviación típica, error estándar, mínimo, máximo, rango, primer cuartil, segundo cuartil, y coeficiente de variación. Además de presentar las tablas con estos resultados (Tablas 1 a 5), también incluimos los diagramas de cajas y bigotes, como una visión sencilla de los mismos (Figuras 6 y 7). Estos diagramas representan de forma gráfica el conjunto de datos, y presenta la ventaja de no exigir un número elevado de datos para su construcción, además de resultar más sencillo su manejo cuando el objetivo es comparar las pautas de variabilidad existentes en distintos grupos de datos. Cuanto más simétrica sea la figura, incluyendo la mediana, más se ajustan a una distribución normal los datos; en contraposición de una gráfica más asimétrica que indica la presencia de datos anómalos. En las gráficas de cajas-bigotes puede observarse como, en casi todos los casos estudiados, se obtienen figuras asimétricas y la presencia de datos anómalos, lo que nos justifica el empleo posterior de métodos robustos.



Figura 5. Olivos.

	Frecuencia	Media	Mediana	Varianza	Desviación típica	Error estándar	Mínimo	Máximo	Rango	Primer cuartil	Segundo cuartil	Coef. de variación
A_HClC	20	15,385	15,8245	0,60886	2,58281	0,577489	11,304	20	8,686	13,2605	17,174	16,81%
A_HCarbonatos	20	47,53	48,9	139,583	11,8146	2,64181	28,8	72,4	43,6	39,55	54,2	24,86%
A_HP	20	9,3075	8,5	46,3385	6,73339	1,50863	0,15	27	26,85	5,5	11	72,34%
A_HMg	20	1,68285	1,5946	0,946885	0,973085	0,217588	0,288	5,135	4,877	1,101	2,025	57,82%
A_HMnO	20	1,5405	1,465	0,311228	0,557876	0,124746	0,68	2,72	2,04	1,14	1,77	36,21%
A_HN	20	0,11485	0,105	0,00115581	0,0339842	0,00760134	0,068	0,194	0,128	0,0835	0,1295	29,85%
A_HpH	20	8,275	8,35	0,0472388	0,21734	0,0468988	7,6	8,5	0,9	8,2	8,4	2,63%
A_HK	20	0,78025	0,7415	0,140418	0,388547	0,0884344	0,489	1,688	1,279	0,488	0,87	48,91%
A_HpF1/3	20	27,4785	28,15	17,2926	4,15844	0,928858	16,14	32,55	16,41	26,21	30,335	15,13%
A_HpF15	20	15,3215	15,485	5,93069	2,43518	0,544622	11,18	19,15	7,97	13,92	16,885	15,89%
A_HTxArella	20	17,7575	12,825	189,521	13,7666	3,07832	3,95	40,2	46,55	5,575	29	77,53%
A_HTxArena	20	20,448	18,246	95,9378	9,79478	2,10018	9,78	42,92	33,14	12,54	25,14	47,80%
A_HTxLimo	20	61,7935	69,62	283,353	17,1276	3,82884	35,63	85,32	49,69	44,51	78,895	27,72%
A_HTamiz	20	35,408	34,75	164,022	12,8071	2,86375	2,33	58,87	54,54	30,96	46,40	36,17%
A_HSalinidad	20	0,355	0,215	0,162488	0,403074	0,08013	0,16	2	1,84	0,19	0,315	113,54%

	Frecuencia	Media	Mediana	Varianza	Desviación típica	Error estándar	Mínimo	Máximo	Rango	Primer cuartil	Segundo cuartil	Coef. de variación
B_HClC	20	10,5435	9,3475	18,8213	4,31523	0,964016	5,652	21,739	16,087	7,3915	12,826	40,93%
B_HCarbonatos	20	4,49	2,46	53,1778	7,29231	1,63061	1,1	34,2	33,1	1,95	3,35	162,41%
B_HP	20	15,4	4	1418,04	37,6569	8,42034	1	189	188	2,5	10	244,53%
B_HMg	20	1,06775	0,7225	0,622489	0,78888	0,176421	0,401	3,104	2,703	0,611	1,1655	73,89%
B_HMnO	20	1,667	1,475	2,06891	1,43767	0,321474	0,26	7,21	6,95	0,92	1,765	88,24%
B_HN	20	0,1329	0,1115	0,00888031	0,0888905	0,0201001	0,040	0,455	0,406	0,0835	0,14	67,64%
B_HpH	20	7,475	7,75	0,430395	0,656046	0,146898	5,8	8,2	2,4	7,1	7,95	8,76%
B_HK	20	0,37525	0,2285	0,207237	0,455233	0,101783	0,056	1,739	1,683	0,1305	0,3635	121,32%
B_HpF1/3	20	21,1446	19,78	49,8486	7,06043	1,57876	12,77	40,94	28,17	15,17	25,175	33,38%
B_HpF15	20	8,203	7,505	13,426	3,66415	0,818328	2,25	17,79	15,54	5,76	10,225	44,67%
B_HTxArella	20	14,5025	13,325	27,1362	5,20924	1,16482	7,95	27,05	19,7	10,7	18,1	36,92%
B_HTxArena	20	54,2535	53,846	241,48	15,5386	3,47477	26,18	80,12	53,94	43,805	67,05	28,64%
B_HTxLimo	20	31,2446	32,135	140,846	11,8878	2,85373	11,63	54,17	42,54	20,955	40,86	37,86%
B_HTamiz	20	19,042	19,03	80,7157	8,98419	2,00883	5,97	41,06	35,09	12,03	24,24	47,18%
B_HSalinidad	20	0,1215	0,13	0,00292921	0,0541222	0,0121021	0,05	0,24	0,19	0,08	0,15	44,55%

Tabla 1. Estadísticos descriptivos correspondientes a las asociaciones AH y BH.

	Frecuencia	Media	Mediana	Varianza	Desviación típica	Error estándar	Mínimo	Máximo	Rango	Primer cuartil	Segundo cuartil	Coef. de variación
C_S ClC	19	11,8765	10,435	19,2625	4,39119	1,07741	0,087	22,089	16,522	8,086	13,913	36,87%
C_S Carbonatos	19	20,6158	18,1	100,787	10,0393	2,20317	3,6	51,8	48,2	15,9	23,2	48,70%
C_S SP	19	27,1053	16	810,665	28,472	6,53193	1	120	119	8	44	105,04%
C_S Mg	19	2,25084	2,346	0,780113	0,88324	0,202629	0,933	3,889	2,956	1,338	2,979	30,24%
C_S MOO	19	1,88263	1,19	3,07351	1,75314	0,402199	0,4	8,54	8,14	0,94	1,59	104,19%
C_S N	19	0,118885	0,085	0,0115902	0,1077	0,024708	0,039	0,533	0,494	0,069	0,112	89,83%
C_S pH	19	8,18947	8,3	0,104327	0,322988	0,0741007	7,2	8,6	1,4	8	8,4	3,94%
C_S K	19	1,38289	0,921	0,968023	0,978786	0,224640	0,295	3,734	3,529	0,895	2,046	71,82%
C_S pF1/3	19	22,1779	21,85	23,6685	4,86379	1,11683	14,48	34,26	19,78	18,15	25,9	21,83%
C_S pF15	19	12,0111	11,42	9,97662	3,15838	0,724628	8,35	19,72	11,37	9,64	12,5	26,30%
C_S TxDrelita	19	25,5053	22,75	79,8879	8,938	2,05052	15,46	46,26	30,81	18,7	33,9	34,82%
C_S TxArena	19	46,6516	40,06	128,94	11,3652	2,80505	18,66	65,69	47,03	37,97	50,7	24,87%
C_S TAlimo	19	28,4368	26,38	88,5472	9,40895	2,15879	4,28	46,87	41,59	24,7	33,59	33,09%
C_S Tamiz	19	22,6142	25,52	178,273	13,3519	3,06313	1,28	48,92	47,64	9,64	33,78	59,04%
C_S Salmidad	19	0,444737	0,33	0,0757041	0,275144	0,0631223	0,16	1,34	1,18	0,29	0,6	61,87%
F_8ClC	20	12,2493	11,057	14,76	3,84447	0,63085	7,391	23,913	16,522	10,239	13,048	31,41%
F_8Carbonatos	20	52,16	50,05	139,595	11,8146	2,64183	33,6	71,6	38	48,1	65,2	22,64%
F_8P	20	13,1	7	516,366	22,7045	5,07621	1	102	101	6	8	173,29%
F_8Mg	20	2,8285	1,7475	10,8912	3,29974	0,73139	0,8	14,867	13,867	1,209	2,5915	115,80%
F_8MOO	20	1,039	0,695	0,196441	0,449467	0,0900005	0,21	2,26	2,05	0,85	1,305	42,87%
F_8N	20	0,0882	0,076	0,00116636	0,0337399	0,00754446	0,039	0,194	0,155	0,0685	0,1	39,14%
F_8pH	20	6,06	6,05	0,0382105	0,190291	0,0423503	7,7	6,5	0,8	7,95	6,2	2,39%
F_8K	20	0,6493	0,716	0,282639	0,531626	0,11682	0,368	2,711	2,393	0,5885	0,865	66,21%
F_8pF1/3	20	31,203	30,546	33,0305	5,74722	1,28912	23,35	45	21,85	27,38	33,585	16,38%
F_8pF15	20	16,7685	16,625	20,0687	4,46204	1,00221	11,82	31,39	19,57	16,085	22,005	23,89%
F_8TxDrelita	20	35,175	35,15	139,726	11,893	2,61483	10,46	69,5	69,15	26,875	39,2	33,24%
F_8TxArena	20	24,2015	24,325	102,805	10,1294	2,265	4,92	60	46,08	16,085	27,62	41,85%
F_8TAlimo	20	40,6235	46,1	67,7164	6,22881	1,94002	22,8	49,77	26,97	37,915	46,38	20,20%
F_8Tamiz	20	17,289	10,725	299,752	17,1386	3,63321	1,27	52,25	50,88	4,855	24,765	69,25%
F_8Salmidad	20	0,6695	0,32	0,653847	0,806606	0,16081	0,24	2,6	2,36	0,28	0,375	117,28%

Tabla 2. Estadísticos descriptivos correspondientes a las asociaciones CS y FS.

	Frecuencia	Media	Mediana	Varianza	Desviación típica	Error estándar	Mínimo	Máximo	Rango	Primer cuartil	Segundo cuartil	Coef. de variación
L_RClC	25	6,6808	5,652	11,8575	3,44347	0,888893	2,174	16,087	13,913	3,913	7,826	51,70%
L_RCarbonatos	25	2,98008	1,4	8,18509	2,86271	0,572541	0	12,1	12,1	1,1	2,3	110,83%
L_RP	25	4,824	4	12,7411	3,56946	0,713983	1	11	10	2	7	73,99%
L_RMg	25	0,83508	0,72	0,378826	0,615569	0,123114	0,184	3,204	3,01	0,518	0,975	73,71%
L_RMnO	25	0,7486	0,63	0,182804	0,430095	0,0878189	0,24	2,12	1,88	0,53	0,8	88,58%
L_RN	25	0,06382	0,059	0,000544327	0,0233388	0,00466616	0,028	0,116	0,087	0,05	0,072	36,50%
L_RpH	25	6,816	7,1	1,19723	1,09418	0,218836	4,3	7,8	3,5	5,6	7,8	16,54%
L_RK	25	0,25944	0,236	0,0117388	0,108304	0,0216688	0,089	0,512	0,443	0,174	0,388	41,75%
L_RpF15	25	15,366	14,47	26,1989	5,11858	1,02372	9,02	28,98	19,96	11,28	19,22	33,33%
L_RpF15	25	7,3856	6,6	11,0464	3,32381	0,864722	3,24	16,81	13,57	5,01	9,22	46,12%
L_RTXArela	25	17,2804	14	94,2397	9,70771	1,94154	5,3	44,5	39,2	21,85	21,85	96,18%
L_RTXArela	25	64,2376	69,68	173,351	13,1863	2,63325	33,05	83,9	50,85	53,72	74,41	20,50%
L_RTXLimo	25	18,5104	15,88	60,0372	7,74837	1,54867	10,43	47,79	37,36	14,24	22,46	41,86%
L_RTaniz	25	8,91424	8,46	71,5217	8,46705	1,68141	0	27	27	1,12	13,85	94,87%
L_RSalinidad	25	0,2112	0,23	0,006511	0,0742381	0,0148472	0,04	0,31	0,27	0,18	0,26	35,15%

	Frecuencia	Media	Mediana	Varianza	Desviación típica	Error estándar	Mínimo	Máximo	Rango	Primer cuartil	Segundo cuartil	Coef. de variación
P_DClC	20	143048	13,478	16,9822	4,12217	0,921744	6,067	23,478	17,391	11,739	16,3045	28,82%
P_DCarbonatos	20	49,28	47,9	235,7	15,3325	3,48293	29,5	91,7	62,1	38,75	65,75	31,16%
P_DP	20	16,35	9	336,976	18,3369	4,10473	2	91	79	6	13,5	199,50%
P_DMg	20	2,351	2,065	1,4679	1,20745	0,26069	0,684	5,802	5,195	1,542	2,8015	61,36%
P_DMnO	20	1,02	0,985	0,000995	0,311491	0,009392	0,48	1,93	1,5	0,845	1,115	30,53%
P_DN	20	0,0897	0,089	0,000005484	0,024006	0,0005022	0,032	0,162	0,12	0,0775	0,086	27,45%
P_DpH	20	8,085	8,1	0,0138211	0,116871	0,0254176	7,9	8,3	0,4	6	6,2	1,41%
P_DK	20	1,00246	1,074	0,0600554	0,249442	0,0099572	0,46	1,968	1,228	0,7495	1,1765	29,87%
P_DpF15	20	30,311	30,155	21,34	4,61632	1,03288	21,76	42,71	20,85	27,815	32,565	16,24%
P_DpF15	20	19,117	18,95	16,0691	4,0085	0,890328	11,88	29,05	19,27	17,04	20,978	20,97%
P_DTXArela	20	40,016	36,575	71,5086	8,48916	1,69065	29,7	65,15	26,45	33,15	49,05	21,15%
P_DTXArela	20	19,886	21,405	49,5389	7,03767	1,57367	5,27	29,86	24,99	14,355	26,705	36,21%
P_DTXLimo	20	39,9085	39,005	26,3788	5,32009	1,19115	30,79	48,05	17,87	37,265	43,846	19,32%
P_DTaniz	20	16,6635	15,02	205,167	14,3365	3,21066	2,85	66,17	66,52	6,24	24,245	76,80%
P_DSalinidad	20	0,2855	0,27	0,00363658	0,0603041	0,0148494	0,2	0,45	0,25	0,24	0,33	21,12%

Tabla 3. Estadísticos descriptivos correspondientes a las asociaciones LR y PD.

	Frecuencia	Media	Mediana	Varianza	Desviación típica	Error estándar	Mínimo	Máximo	Rango	Primer cuartil	Segundo cuartil	Coef. de variación
R_CcC	21	11,677	10	22,0066	4,69143	1,02375	6,522	26,957	20,435	8,686	13,043	40,18%
R_CCarbonatos	21	35,5714	33,7	172,942	13,1507	2,86873	7,2	59,3	51,1	28,9	45,3	39,97%
R_CP	21	20,9524	10	15,3835	39,2218	8,56889	2	188	184	5	20	187,20%
R_CMg	21	2,71576	2,595	1,87509	1,40538	0,306679	0,804	7,175	6,371	2,107	2,995	51,75%
R_CM00	21	1,57429	1,19	3,24316	1,82943	0,398906	0,43	9,18	8,75	0,79	1,56	116,14%
R_CN	21	0,128857	0,093	0,0204389	0,142965	0,0311975	0,051	0,737	0,688	0,075	0,123	110,95%
R_CpH	21	7,94286	8	0,0275714	0,166046	0,0362343	7,6	8,2	0,6	7,8	8,1	2,09%
R_CK	21	1,476	1,023	4,1629	2,04032	0,446234	0,256	10,102	9,846	0,639	1,432	138,23%
R_CpF18	21	24,7362	22,52	53,4692	7,31226	1,59567	17,42	42,71	25,29	20,44	24,95	29,56%
R_CpF15	21	14,2381	11,94	38,8703	6,0721	1,32504	7,72	29,95	22,23	10,95	15,1	42,65%
R_CTxArcilla	21	24,2381	27,1	183,709	13,5539	2,95771	3,35	55,5	52,15	16,4	31,1	55,92%
R_CTxArena	21	37,8462	37,57	220,239	15,1406	3,30306	12,79	68,47	55,68	31,40	43,7	40,01%
R_CTxLimo	21	37,9405	34,88	195,105	13,998	3,04807	17,23	69,79	52,56	31,24	49,06	36,82%
R_CTamiz	21	12,979	11,97	81,9687	9,05368	1,97567	2,84	34,57	31,73	6,51	15,13	69,76%
R_CSalinidad	21	0,491429	0,34	0,218553	0,467496	0,102016	0,25	2,4	2,15	0,3	0,41	95,13%
T_PCC	19	5,21732	5,217	2,24736	1,49912	0,343921	3,478	9,505	6,087	4,348	6,087	26,73%
T_PCarbonatos	19	1,36942	1,5	0,168947	0,398882	0,0914639	0	1,8	1,8	1,3	1,5	29,13%
T_PP	19	5,26316	2	88,9491	9,41537	2,16003	1	35	34	1	3	178,89%
T_PMg	19	0,518316	0,474	0,0654022	0,255739	0,0586705	0,137	1,382	1,245	0,393	0,551	49,25%
T_PM00	19	1,56947	1,45	0,159283	0,399103	0,0915605	0,9	2,27	1,37	1,25	1,94	25,43%
T_PN	19	0,0655203	0,068	0,00500374	0,022369	0,00513181	0,044	0,123	0,079	0,068	0,105	26,15%
T_PpH	19	6,04737	6	0,0604004	0,246783	0,0563865	5,6	6,6	1	5,8	6,2	4,06%
T_Pk	19	0,142421	0,125	0,00224937	0,0474275	0,0106806	0,064	0,225	0,161	0,111	0,189	33,30%
T_PpF18	19	12,6316	11,7	12,6944	3,59152	0,817069	9,09	23,89	15,9	10,65	14,8	29,20%
T_PpF15	19	4,79053	4,38	2,39512	1,54762	0,355048	3,48	10,7	7,22	4,68	4,89	32,31%
T_PTxArcilla	19	9,98158	7,05	22,4742	4,7407	1,08759	5,05	17,6	12,55	5,9	15,05	46,97%
T_PTxArena	19	75,47	76,08	53,5168	7,31652	1,67829	47,1	82,23	35,13	74,85	78,62	9,69%
T_PTxLimo	19	14,8995	14,81	57,2235	7,59462	1,73544	4,34	39,05	35,31	8,31	18,17	60,87%
T_PTamiz	19	20,5005	20,39	46,0963	6,71538	1,54061	7,44	39,99	23,55	15,39	25,59	32,76%
T_PSalinidad	19	0,0468421	0,04	6,72515E-05	0,0082007	0,00188137	0,04	0,06	0,02	0,04	0,05	17,51%

Tabla 4. Estadísticos descriptivos correspondientes a las asociaciones RC y TP.

	Frecuencia	Media	Mediana	Varianza	Desviación típica	Error estándar	Mínimo	Máximo	Rango	Primer cuartil	Segundo cuartil	Coef. de variación
T_TCC	20	9,6304	7,826	25,4559	5,0454	1,12774	3,478	20,435	16,957	5,8885	13,478	52,37%
T_TCarbonatos	20	1,64	1,7	0,468737	0,687665	0,150003	0	3,6	3,6	1,3	1,95	42,54%
T_TP	20	4,615	1,5	79,1621	8,88731	1,8885	0,15	39	38,85	1	3,5	192,79%
T_TMg	20	1,09735	0,7655	0,796462	0,892468	0,16956	0,339	4,095	3,756	0,4785	1,577	81,33%
T_TM00	20	1,468	1,47	0,29028	0,538776	0,120474	0,29	2,35	2,06	1,13	1,825	36,95%
T_TN	20	0,09405	0,0815	0,00106521	0,0326375	0,00729797	0,025	0,147	0,122	0,0665	0,089	36,83%
T_TpH	20	6,13	6,1	0,109579	0,331027	0,0740189	5,6	6,6	1	5,9	6,4	5,40%
T_TK	20	0,1559	0,1305	0,00461199	0,0679116	0,0151855	0,064	0,307	0,243	0,11	0,1955	43,56%
T_TpF13	20	16,9215	15,1	34,5796	5,88044	1,21401	10,26	32,94	22,68	13,74	18,05	34,75%
T_TpF15	20	6,6733	5,615	11,2463	3,2534	0,746844	3,54	17,23	13,69	4,793	6,546	50,25%
T_TxArcilla	20	13,5875	12,525	39,7463	6,30447	1,49872	6,7	29,8	23,1	8,625	15,8	46,40%
T_TxArena	20	64,9245	73,12	347,881	18,6516	4,17062	25,62	82,13	56,51	63,105	74,485	26,73%
T_TxLimo	20	21,488	16,88	221,322	14,8769	3,22658	4,35	51,55	47,2	12,085	24,295	66,23%
T_TTamiz	20	20,085	17,015	107,136	10,3506	2,31447	8,28	44,04	35,76	11,405	25,58	51,53%
T_TSalinidad	20	0,0485	0,05	0,000046	0,0067662	0,0015	0,04	0,06	0,02	0,04	0,05	13,83%

	Frecuencia	Media	Mediana	Varianza	Desviación típica	Error estándar	Mínimo	Máximo	Rango	Primer cuartil	Segundo cuartil	Coef. de variación
U_MClC	21	10,669	9,565	44,6048	6,68394	1,49067	4,763	37,391	32,638	6,261	12,174	61,47%
U_MCarbonatos	21	31,6019	35,4	397,011	19,9251	4,34802	1,1	71,5	70,4	15,7	45,1	62,34%
U_MP	21	36,1905	15	2765,26	52,4715	11,4932	4	243	239	7	48	144,60%
U_MMg	21	1,66948	1,563	1,4539	1,49746	0,261307	0,365	5,612	5,447	0,669	2,104	70,50%
U_MM00	21	1,6039	1,19	0,0953	3,01086	0,657024	0,4	14,54	14,14	0,77	1,96	153,11%
U_MN	21	0,179048	0,066	0,0664567	0,266666	0,0641694	0,041	1,423	1,362	0,071	0,149	164,20%
U_MpH	21	7,77619	7,9	0,322905	0,568247	0,124002	5,6	8,5	2,9	7,7	8	7,31%
U_MK	21	1,26638	0,621	1,76663	1,32067	0,260224	0,266	6,571	6,115	0,612	1,176	105,02%
U_MpF13	21	24,5743	20,39	265,032	16,2798	3,55264	11,44	60,49	79,05	16,45	25,66	65,41%
U_MpF15	21	13,1671	11,53	62,6398	7,27006	1,56646	6,74	37,13	31,39	6,46	16,29	55,00%
U_MTxArcilla	21	21,2639	17,75	124,46	11,1562	2,49448	6,35	44,65	39,5	16,8	29,3	62,36%
U_MTxArena	21	46,0014	50,69	366,066	19,2007	4,16963	13,04	72,02	56,68	34,56	63,49	41,74%
U_MTxLimo	21	32,7119	33,19	162,125	13,4654	2,94494	12,85	66,23	46,28	20,23	49,69	41,26%
U_MTamiz	21	40,5676	9,32	117,769	10,6517	2,36604	0,47	52,36	51,69	4,94	12,04	102,40%
U_MSalinidad	21	0,565238	0,34	0,393169	0,626303	0,126666	0,17	2,5	2,33	0,3	0,42	105,14%

Tabla 5. Estadísticos descriptivos correspondientes a las asociaciones TT y UM.

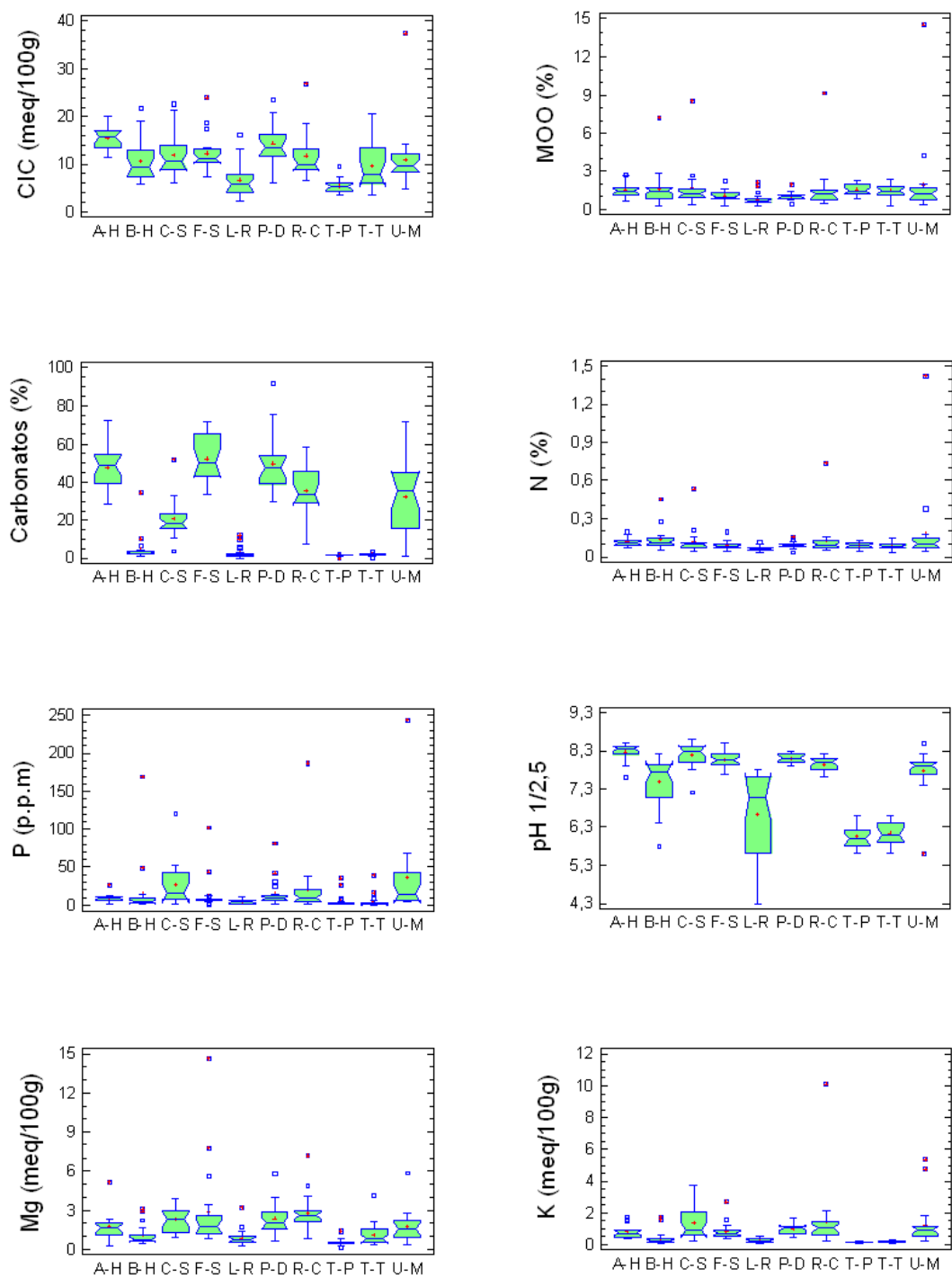


Figura 6. Diagramas de cajas y bigotes correspondientes a los parámetros edáficos CIC, carbonatos, P, Mg, MOO, N, pH y K para todas las asociaciones.

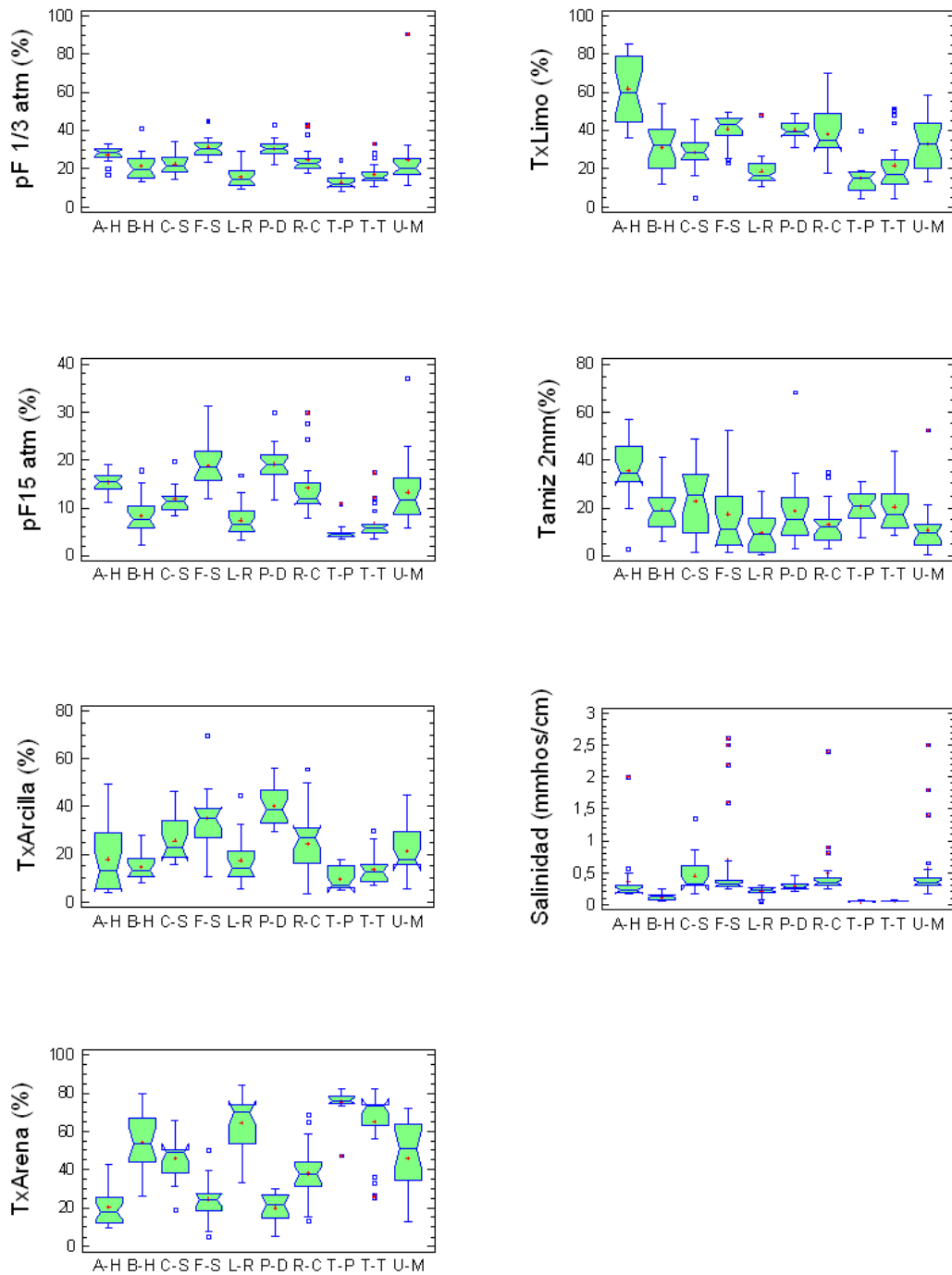


Figura 7. Diagramas de cajas y bigotes correspondientes a los parámetros edáficos pF (1/3 y 15), textura de arena, textura de arcilla, textura de limo, tamiz y salinidad para todas las asociaciones.

0.4. Métodos robustos

Puesto que el análisis clásico pone de manifiesto la presencia de datos anómalos así como una elevada heterocedasticidad para muchas de las asociaciones estudiadas, queda justificado el uso de métodos estadísticos robustos tanto para describir como para comparar dichos atributos edáficos según la asociación a la que pertenecen los inventarios de los que proceden. Como estimador robusto de la media se ha utilizado la media -Winsorizada muestral (media-win) que evita la sensibilidad a la presencia de valores extremos. Como estimador robusto de la mediana se ha utilizado el M-estimador de localización de Huber (mediana-est), estimador que coincidirá con la media muestral si en el modelo los datos no son anómalos ya que la media muestral es en realidad el estimador de mayor eficiencia (Tablas 6 a 10). Compárense, por ejemplo en la tablas la media con la mediana-est para los valores de pH, lo que indica la ausencia de datos anómalos, y de nuevo para los valores de P, comparación que en este caso indica la presencia de datos anómalos. Además se han obtenido los errores de muestreo del estimador cuantil (nqse) y el de la mediana muestral (mestse). En estas tablas aparece MAD= 0 cuando el estimador de la media robusta es 0 en cuyo caso mestse no puede calcularse. También se han obtenido los errores de muestreo del estimador cuantil (nqse) y el de la mediana muestral (mestse).

C.I.C. (meq/100g)	AH	BH	CS	FS	LR	PD	RC	TP	TT	UM
media	15.365	10.544	11.877	12.241	6.661	14.304	11.677	5.217	9.630	10.889
media-win	15.343	9.935	11.419	11.445	6.139	13.913	10.621	5.011	8.956	9.814
mediana	15.825	9.348	10.435	11.087	5.652	13.478	10.000	5.217	7.826	9.565
mediana-est	15.397	9.906	11.275	11.445	6.272	13.946	10.527	5.028	8.510	9.816
nqse	0.824	1.007	1.157	0.737	0.725	0.986	0.929	0.541	1.556	1.115
mestse	0.676	0.932	0.820	0.461	0.714	0.871	0.827	0.288	1.415	0.731

Carbonatos (%)	AH	BH	CS	FS	LR	PD	RC	TP	TT	UM
media	47.5	4.5	20.6	52.2	2.6	49.3	35.6	1.4	1.6	32.0
media-win	47.5	2.5	19.2	52.8	1.7	46.3	36.7	1.5	1.6	31.1
mediana	48.9	2.5	18.1	50.1	1.4	47.9	33.7	1.5	1.7	35.4
mediana-est	47.3	2.5	19.1	52.1	1.6	47.0	36.2	1.4	1.6	31.6
nqse	3.7	0.3	1.4	4.9	0.2	3.4	4.2	0.1	0.2	8.1
mestse	2.8	0.3	1.5	3.2	0.2	3.0	3.1	0.1	0.1	4.3

P (ppm)	AH	BH	CS	FS	LR	PD	RC	TP	TT	UM
media	9.31	15.40	27.11	13.10	4.82	15.35	20.95	5.26	4.62	36.19
media-win	8.10	5.40	22.74	7.00	4.66	9.60	12.24	2.63	2.25	25.19
mediana	8.50	4.00	16.00	7.00	4.00	9.00	10.00	2.00	1.50	15.00
mediana-est	8.21	5.42	22.04	7.00	4.57	9.73	11.09	1.97	1.60	22.35
nqse	1.36	1.68	7.37	0.49	0.90	1.59	2.99	0.58	0.37	8.51
mestse	1.03	1.46	6.56	0.50	0.91	1.59	2.63	0.67	0.26	8.32

Tabla 6. Estadísticos robustos para CIC, carbonatos y P.

Mg (meq/100g)	AH	BH	CS	FS	LR	PD	RC	TP	TT	UM
media	1.683	1.068	2.251	2.829	0.835	2.351	2.716	0.519	1.097	1.698
media-win	1.558	0.844	2.211	1.863	0.737	2.190	2.489	0.492	0.958	1.524
mediana	1.595	0.723	2.345	1.748	0.720	2.019	2.585	0.474	0.766	1.583
mediana-est	1.570	0.818	2.232	1.857	0.732	2.144	2.526	0.477	0.943	1.557
nqse	0.204	0.110	0.330	0.256	0.108	0.249	0.338	0.033	0.244	0.299
mestse	0.133	0.099	0.216	0.297	0.083	0.246	0.232	0.035	0.159	0.184

M.O.O. (%)	AH	BH	CS	FS	LR	PD	RC	TP	TT	UM
media	1.54	1.67	1.68	1.04	0.75	1.02	1.57	1.57	1.46	1.90
media-win	1.46	1.36	1.33	1.06	0.67	0.99	1.18	1.58	1.47	1.19
mediana	1.46	1.48	1.19	0.96	0.63	0.99	1.19	1.45	1.47	1.19
mediana-est	1.48	1.40	1.26	1.02	0.65	0.99	1.19	1.57	1.48	1.21
nqse	0.15	0.21	0.14	0.14	0.07	0.06	0.17	0.13	0.15	0.19
mestse	0.13	0.15	0.14	0.09	0.06	0.06	0.14	0.10	0.13	0.14

N (%)	AH	BH	CS	FS	LR	PD	RC	TP	TT	UM
media	0.115	0.133	0.120	0.086	0.064	0.090	0.129	0.086	0.084	0.179
media-win	0.110	0.115	0.097	0.084	0.062	0.087	0.101	0.086	0.083	0.113
mediana	0.105	0.112	0.095	0.078	0.059	0.089	0.093	0.086	0.082	0.098
mediana-est	0.110	0.113	0.095	0.081	0.061	0.088	0.101	0.086	0.082	0.112
nqse	0.008	0.012	0.011	0.006	0.005	0.005	0.011	0.008	0.007	0.018
mestse	0.008	0.009	0.010	0.007	0.005	0.003	0.009	0.006	0.006	0.014

Tabla 7. Estadísticos robustos para Mg, MOO y N.

pH	AH	BH	CS	FS	LR	PD	RC	TP	TT	UM
media	8.3	7.5	8.2	8.1	6.6	8.1	7.9	6.0	6.1	7.8
media-win	8.3	7.6	8.2	8.1	6.7	8.1	8.0	6.0	6.1	7.9
mediana	8.4	7.8	8.3	8.1	7.1	8.1	8.0	6.0	6.1	7.9
mediana-est	8.3	7.6	8.3	8.1	6.7	8.1	8.0	6.0	6.1	7.9
nqse	0.0	0.2	0.1	0.1	0.4	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1
mestse	0.0	0.2	0.1	0.0	0.3	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1

K (meq/100g)	AH	BH	CS	FS	LR	PD	RC	TP	TT	UM
media	0.790	0.375	1.363	0.841	0.259	1.002	1.476	0.142	0.156	1.266
media-win	0.688	0.249	1.231	0.716	0.258	0.985	1.064	0.141	0.149	0.921
mediana	0.742	0.229	0.921	0.716	0.236	1.074	1.023	0.125	0.131	0.921
mediana-est	0.710	0.256	1.164	0.726	0.257	0.995	1.066	0.138	0.146	0.943
nqse	0.071	0.048	0.286	0.088	0.031	0.100	0.169	0.016	0.019	0.166
mestse	0.063	0.056	0.292	0.078	0.022	0.066	0.127	0.016	0.015	0.133

pF 1/3 atm (%)	AH	BH	CS	FS	LR	PD	RC	TP	TT	UM
media	27.48	21.14	22.18	31.26	15.36	30.31	24.74	12.63	16.92	24.51
media-win	28.18	20.66	21.91	30.49	14.93	30.08	22.78	12.19	15.63	21.78
mediana	28.15	19.78	21.65	30.55	14.47	30.16	22.52	11.70	15.10	20.39
mediana-est	28.07	20.56	21.92	30.49	15.09	30.06	22.82	12.00	15.43	21.60
nqse	1.24	2.12	1.54	1.52	1.37	1.03	1.07	0.65	0.99	2.24
mestse	0.84	1.38	1.06	1.05	1.04	0.96	1.00	0.73	0.89	1.73

Tabla 8. Estadísticos robustos para pH, K y pF 1/3.

pF 15 atm (%)	AH	BH	CS	FS	LR	PD	RC	TP	TT	UM
media	15.32	8.20	12.01	18.79	7.37	19.12	14.24	4.79	6.67	13.20
media-win	15.33	7.69	11.28	18.71	6.99	19.01	12.70	4.48	5.65	11.94
mediana	15.49	7.51	11.42	18.53	6.60	18.96	11.94	4.38	5.62	11.53
mediana-est	15.42	7.75	11.40	18.48	7.00	18.97	12.90	4.48	5.71	12.17
nqse	0.70	0.88	0.68	1.51	0.85	0.92	1.12	0.18	0.41	1.70
mestse	0.65	0.81	0.52	0.88	0.65	0.79	1.09	0.13	0.40	1.25

Tx arcilla (%)	AH	BH	CS	FS	LR	PD	RC	TP	TT	UM
media	17.76	14.50	25.60	35.18	17.28	40.02	24.24	9.68	13.59	21.29
media-win	16.49	14.15	24.80	33.74	15.99	39.06	23.59	9.52	12.30	21.81
mediana	12.83	13.33	22.75	35.15	14.00	38.58	27.10	7.05	12.53	17.75
mediana-est	16.63	14.21	23.92	34.42	15.97	39.27	23.53	7.84	12.72	20.98
nqse	5.07	1.61	2.27	2.62	2.40	2.77	3.59	1.78	1.34	3.92
mestse	3.59	1.12	2.70	1.89	2.37	2.22	2.89	1.23	1.18	2.51

Tx arena (%)	AH	BH	CS	FS	LR	PD	RC	TP	TT	UM
media	20.45	54.25	45.65	24.20	64.24	19.99	37.85	75.47	64.92	46.00
media-win	18.51	55.18	45.82	23.56	65.17	20.31	36.14	76.63	69.19	46.79
mediana	18.25	53.85	49.06	24.33	69.66	21.47	37.57	76.08	73.12	50.89
mediana-est	19.37	54.70	46.03	23.80	65.69	20.16	37.30	76.70	72.66	46.19
nqse	2.41	5.60	3.27	2.13	4.50	2.45	4.70	0.87	3.55	6.94
mestse	2.24	3.75	2.81	1.77	3.35	1.57	3.30	0.76	1.44	4.71

Tabla 9. Estadísticos robustos para pF15, textura de arcilla y textura de arena.

Tx limo (%)	AH	BH	CS	FS	LR	PD	RC	TP	TT	UM
media	61.79	31.24	28.44	40.62	18.51	40.00	37.94	14.87	21.49	32.71
media-win	61.99	30.85	28.71	42.18	17.57	40.26	37.82	14.01	18.40	32.21
mediana	59.62	32.14	28.38	43.10	15.98	39.10	34.88	14.81	16.98	33.19
mediana-est	61.79	31.08	28.56	42.06	17.44	40.12	37.31	14.16	17.18	32.54
nqse	6.90	4.71	1.80	2.19	1.63	1.70	5.14	2.12	2.48	5.01
mestse	3.83	2.71	1.61	1.67	1.21	1.48	3.25	1.21	2.72	3.02

Tamiz 2mm (%)	AH	BH	CS	FS	LR	PD	RC	TP	TT	UM
media	35.41	19.04	22.61	17.27	8.91	18.70	12.98	20.50	20.09	10.60
media-win	36.92	18.03	22.60	13.64	8.25	16.33	10.93	20.80	18.10	8.67
mediana	34.75	19.03	25.52	10.73	8.46	15.02	11.97	20.39	17.02	9.32
mediana-est	35.95	18.62	22.34	12.81	8.74	16.67	11.68	20.85	18.57	8.67
nqse	4.35	2.89	5.22	3.73	2.70	3.28	2.01	2.00	2.56	1.81
mestse	2.68	2.30	3.05	3.78	1.72	2.23	2.01	1.66	2.61	1.25

Salinidad (mmhos/cm)	AH	BH	CS	FS	LR	PD	RC	TP	TT	UM
media	0.36	0.12	0.44	0.69	0.21	0.29	0.49	0.05	0.05	0.57
media-win	0.25	0.12	0.40	0.33	0.22	0.28	0.36	0.05	0.05	0.38
mediana	0.22	0.13	0.33	0.32	0.23	0.27	0.34	0.04	0.05	0.34
mediana-est	0.25	0.12	0.39	0.33	0.22	0.28	MAD=0	MAD=0	MAD=0	MAD=0
nqse	0.03	0.02	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.03
mestse	0.03	0.01	0.05	0.02	0.01	0.01	MAD=0	MAD=0	MAD=0	MAD=0

Tabla 10. Estadísticos robustos para textura de limo, tamiz y salinidad.

0.5. Análisis de varianza

Hemos utilizado métodos robustos para una mayor fiabilidad en el análisis de la varianza. Los contrastes de hipótesis lineales sobre las medias recortadas poblacionales y en particular sobre las comparaciones múltiples, se han llevado a cabo tras definir una hipótesis nula a contrastar sobre las medias recortadas poblacionales. Para una

fácil interpretación, a continuación hemos realizado unos gráficos (Figuras 8 a 12) en los que se muestran las comparaciones múltiples entre asociaciones para cada parámetro edáfico; en ellos, la existencia de una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) se representa cuando el valor de la barras del histograma es positivo.

Por ejemplo, para los valores de CIC, existen diferencias significativas entre las asociaciones *AH-TP*, *BH-TP*, *CS-LR*, *CS-TP*, *FS-LR*, *FS-TP*, *LR-PD*, *LR-RC*, *PD-TP*, *RC-TP*, *LR-UM*, *PD-TT*, *PD-UM* y *TP-UM*, y no existen diferencias significativas para cualesquiera otras comparaciones que se realicen. Los códigos empleados para las comparaciones se indican en la Tabla 11.

Nom.Asociación	Nom.Asociación	Comparación	Nom.Asociación	Nom.Asociación	Comparación
AH	BH	1	LR	PD	23
AH	CS	2	LR	RC	24
AH	FS	3	LR	TP	25
AH	LR	4	PD	RC	26
AH	PD	5	PD	TP	27
AH	RC	6	RC	TP	28
AH	TP	7	AH	TT	29
BH	CS	8	AH	UM	30
BH	FS	9	BH	TT	31
BH	LR	10	BH	UM	32
BH	PD	11	CS	TT	33
BH	RC	12	CS	UM	34
BH	TP	13	FS	TT	35
CS	FS	14	FS	UM	36
CS	LR	15	TT	UM	37
CS	PD	16	LR	TT	38
CS	RC	17	LR	UM	39
CS	TP	18	PD	TT	40
FS	LR	19	PD	UM	41
FS	PD	20	RC	TT	42
FS	RC	21	RC	UM	43
FS	TP	22	TP	TT	44
			TP	UM	45

Tabla 11. Códigos empleados para representar las comparaciones entre asociaciones en el análisis de la varianza robusto (Figuras 8 a 12).

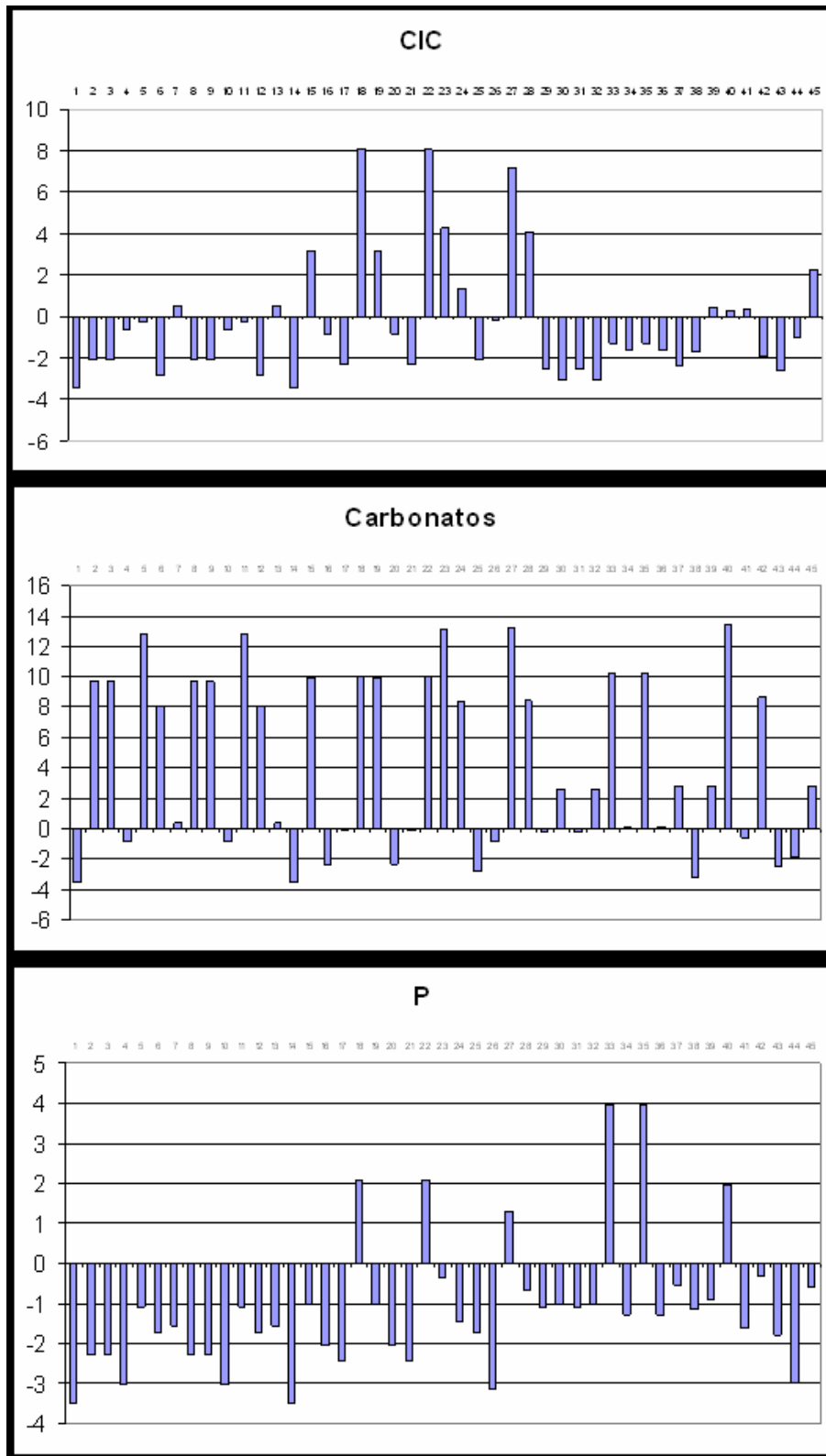


Figura 8. Análisis de la varianza para los parámetros CIC, carbonatos y P.

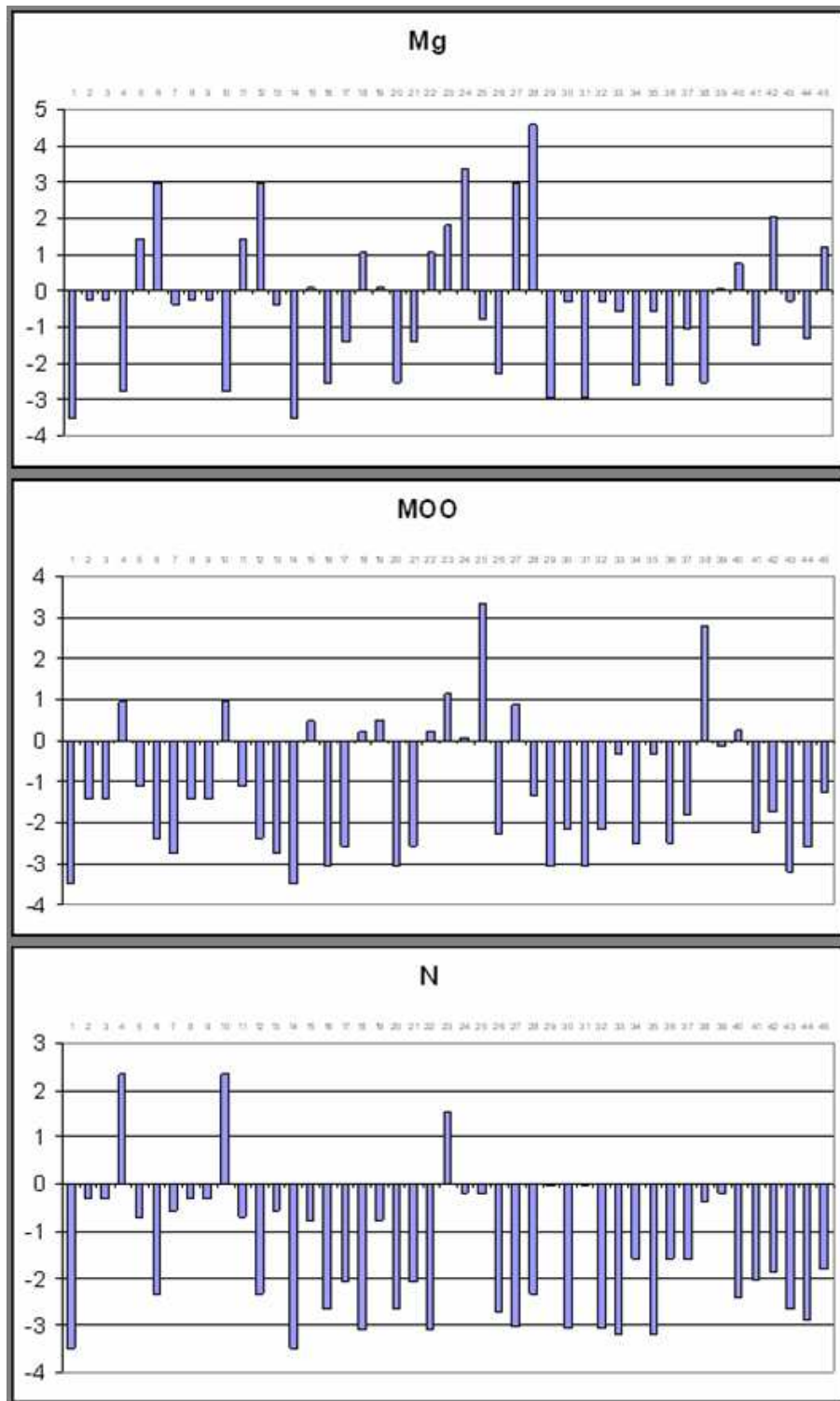


Figura 9. Análisis de la varianza para los parámetros Mg, MOO y N.

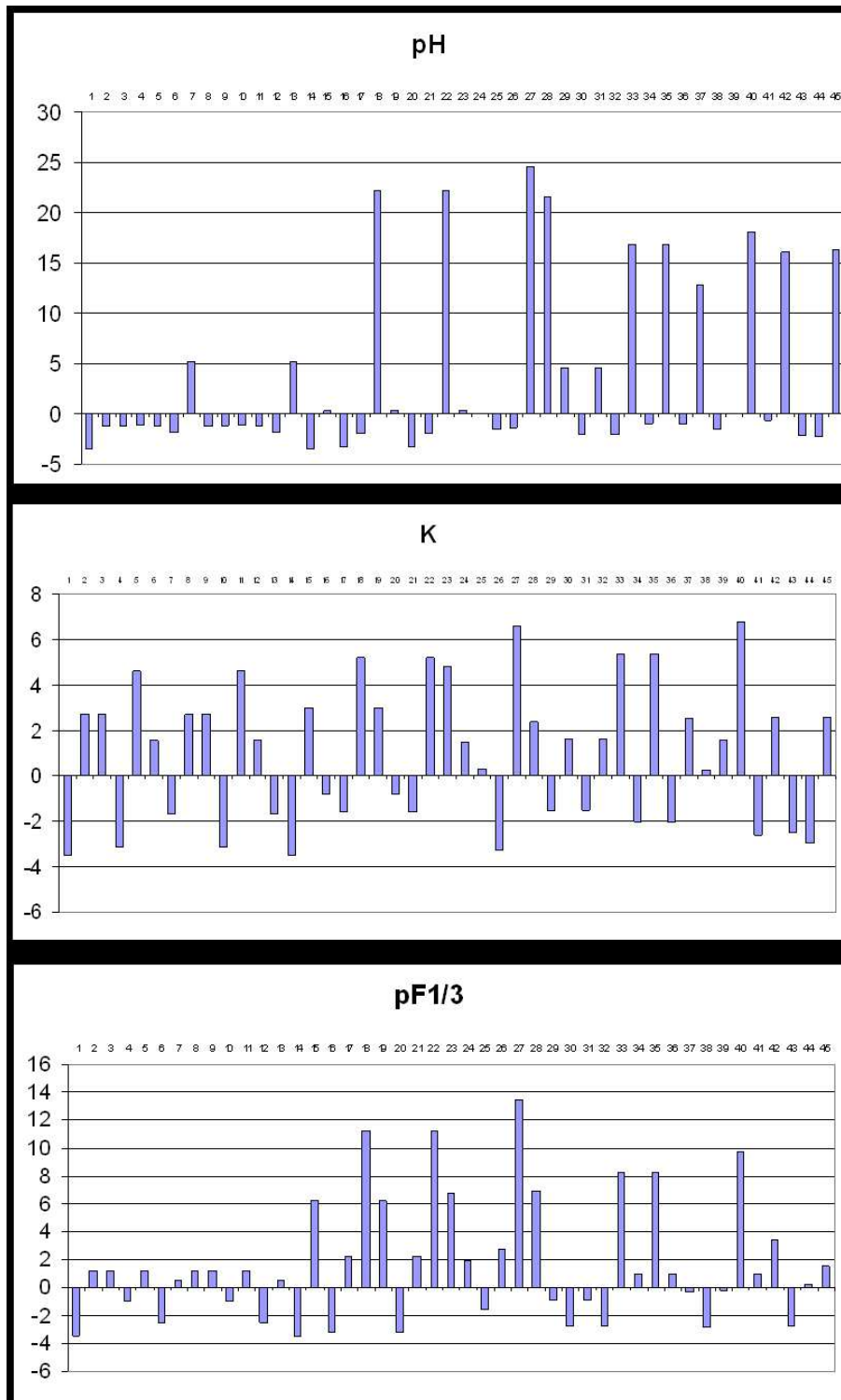


Figura 10. Análisis de la varianza para los parámetros pH, K y pF 1/3.

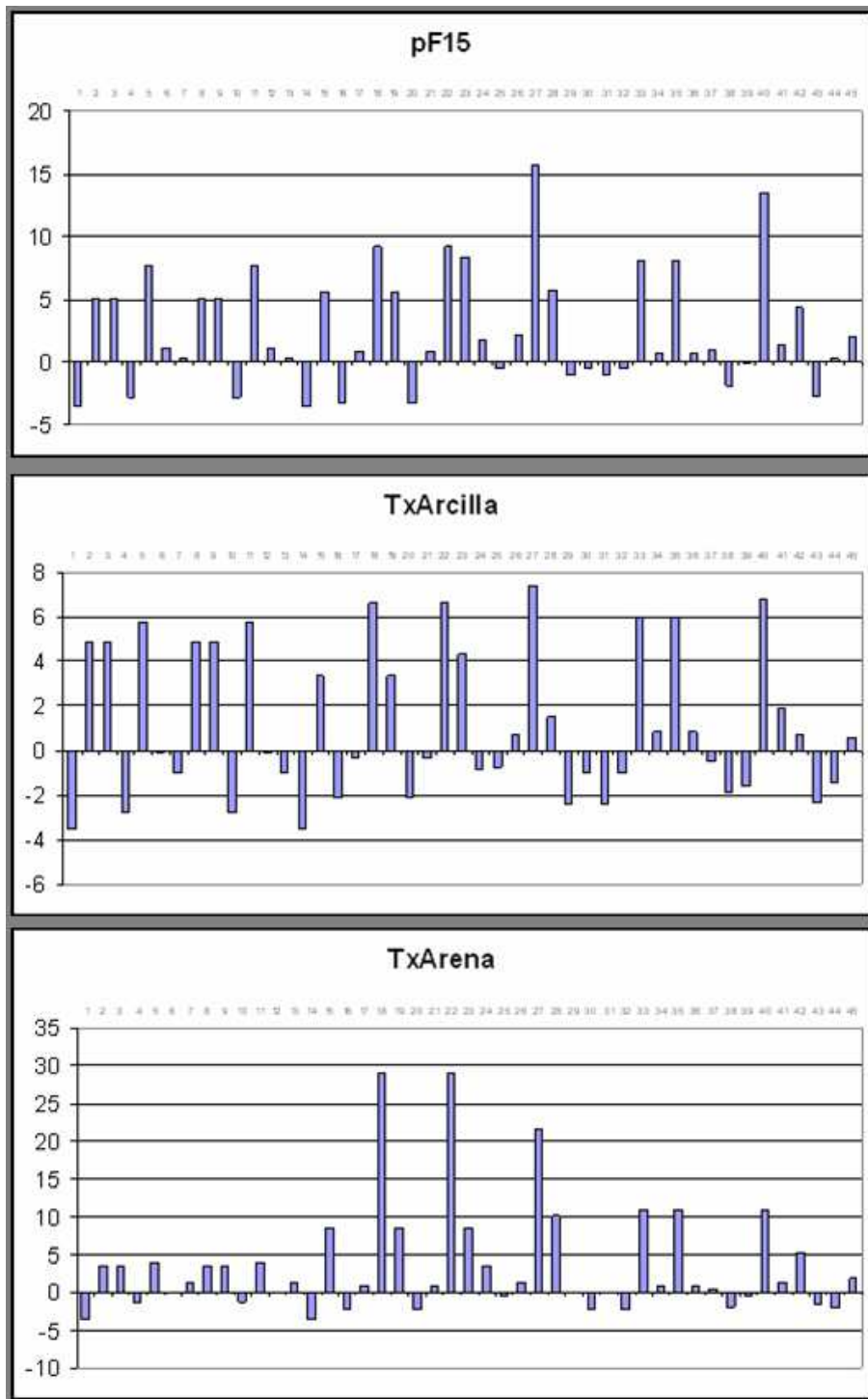


Figura 11. Análisis de la varianza para los parámetros pF 15, textura de arcilla y textura de arena.

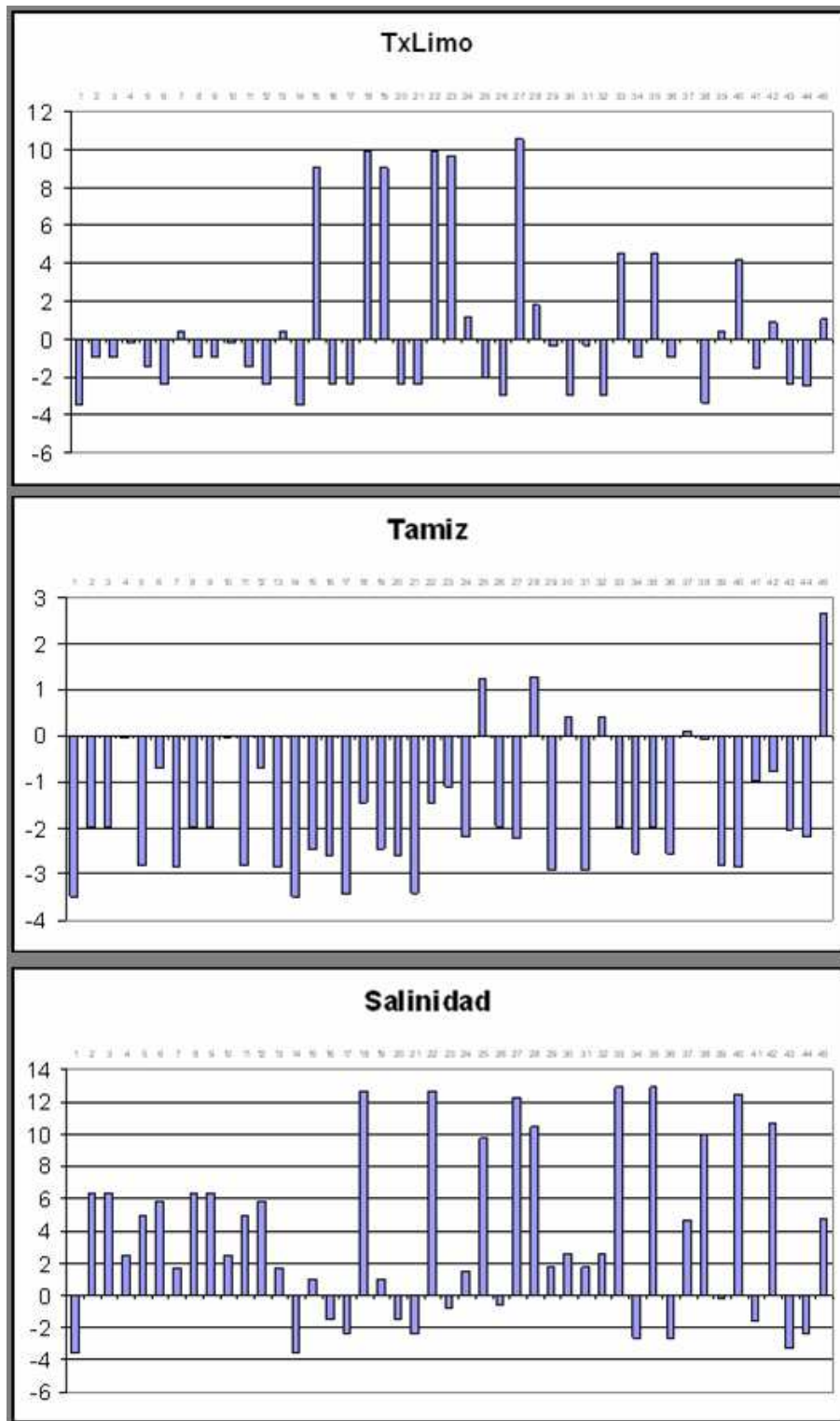


Figura 12. Análisis de la varianza para los parámetros textura de limo, tamiz y salinidad.

0.6. Componentes principales

El análisis de componentes principales nos permite obtener combinaciones lineales entre variables incorreladas entre sí. La influencia que tiene cada variable en una determinada componente principal es proporcional a la magnitud de su coeficiente asociado, por lo que la selección de las variables con los mayores componentes puede ser representativa de alguna característica común subyacente a ambas, en nuestro caso desde un punto de vista biológico. Además otra de las aplicaciones que se pueden realizar con los componentes principales es la determinación de los grupos de datos homogéneos (tipo cluster).

Con el fin de obtener la máxima información posible, hemos realizado una representación gráfica en 3D (Figuras 14 a 16) en la que se indican, para cada variable el peso en los tres primeros componentes principales (los que reúnen una mayor variabilidad; las coordenadas en x , y , z) y las variables con un mayor coeficiente en cada componente principal hasta incluir, al menos, el 70 % de variabilidad (se indican en color hasta 5 componentes distintos: 1 rojo; 2 verde; 3 azul; 4 naranja; 5 rosa; el coeficiente de mayor valor de cada componente se indica en negrita) Así pues, podremos tratar de inferir las características comunes entre grupos de variables tanto por su localización en lugares próximos del espacio 3D como por coincidencia en componente (color)



Figura 13. Aceitunas.

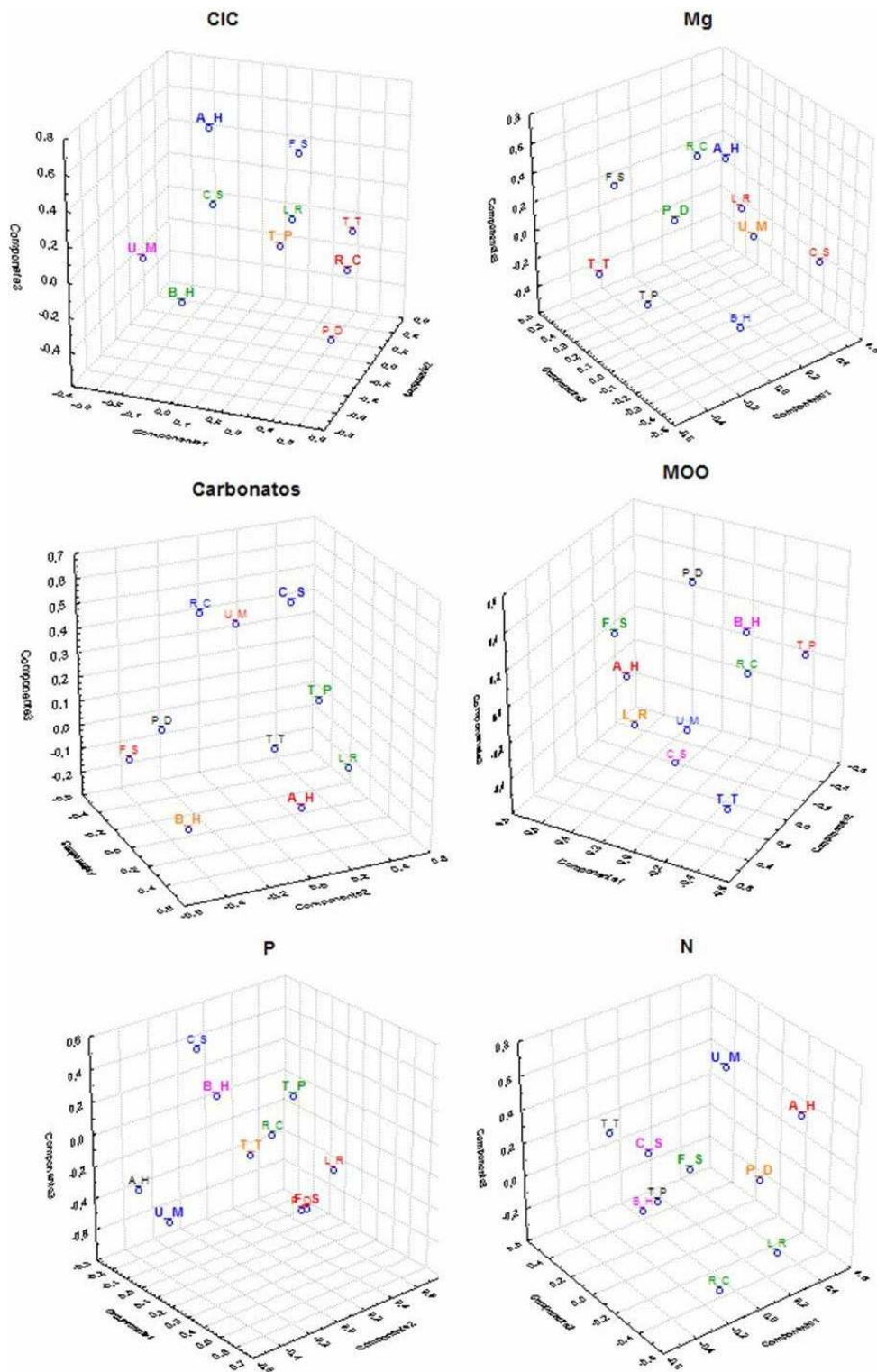


Figura 14. Gráficas de componentes principales de las asociaciones según los parámetros edáficos: CIC, Mg, carbonatos, MOO, P y N.

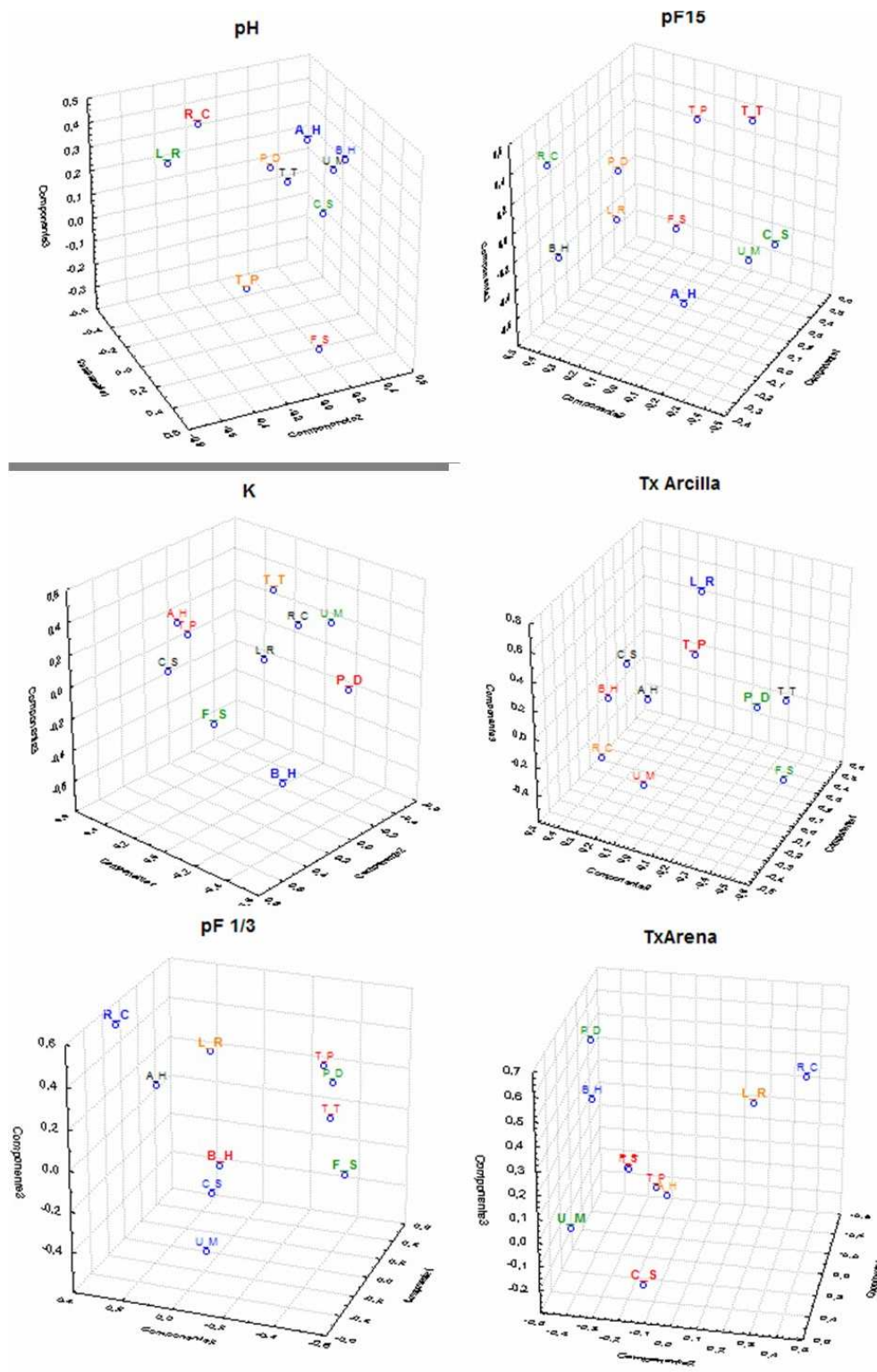


Figura 15. Gráficas de componentes principales de las asociaciones según los parámetros edáficos: pH, pF15, K, textura de arcilla, pF1/3 y textura de arena.

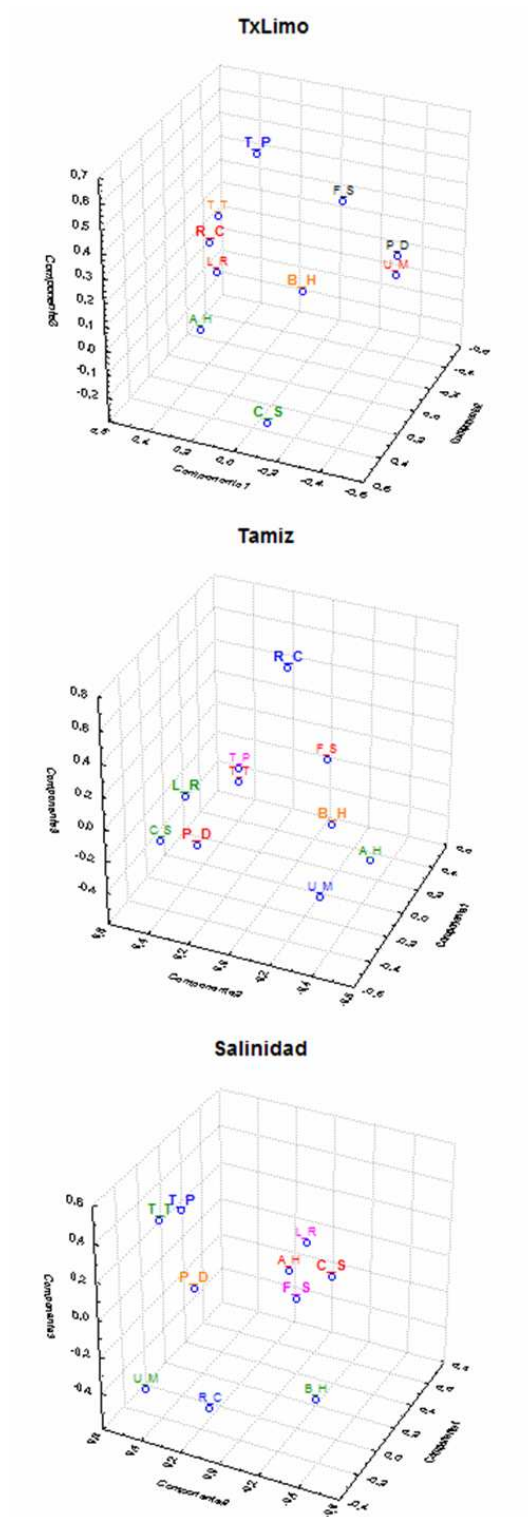


Figura 16. Gráficas de componentes principales de las asociaciones según los parámetros edáficos: textura de limo, tamiz y salinidad.

0.7. Redes probabilísticas bayesianas

Las redes bayesianas son una aproximación probabilística que representan un conjunto de incertidumbres relacionadas. Se basan en la Teoría de la Probabilidad (teorema de Bayes) y en la Teoría de Grafos para representar modelos de la realidad. Las redes bayesianas se han utilizado, entre otras, para tratar la incertidumbre que caracteriza las fluctuaciones de los mercados financieros, en la toma de decisiones que implica el diagnóstico médico o en el estudio de ecosistemas naturales; sin embargo, y para nuestro conocimiento, no han sido ampliamente utilizadas en la disciplina de la Biología Vegetal, y mucho menos en el análisis de las relaciones planta-suelo.

Las redes bayesianas tienen una dimensión cualitativa y otra cuantitativa. En su aspecto cualitativo, las redes bayesianas pueden entenderse como una representación gráfica (un grafo o red) de un conjunto de relaciones de dependencia entre variables; el tipo de redes que se consiguen se denominan grafos dirigidos acíclicos, donde cada nodo representa a una variable y los arcos indican la relación existente entre los nodos. La ventaja de este tipo de representación de un modelo es que permite la codificación de relaciones de dependencia e independencia condicional entre variables, lo que facilita la interpretación y los cálculos sobre el modelo. El abordaje cuantitativo se basa en que la incertidumbre asociada a cada variable de una red bayesiana es tratada bajo la Teoría de la Probabilidad. Así, cada variable de un modelo tiene un número limitado de posibles estados (o niveles) y cada uno de ellos lleva asociado un valor, una probabilidad para la ocurrencia de ese estado. Estas probabilidades son susceptibles de modificación cuando tenemos alguna evidencia previa sobre alguna de las variables del modelo. En ese caso, cuando conocemos el valor que toma una determinada variable del modelo, esa información se propaga por la red y se recalculan los valores asociados a otras variables utilizando como operador básico el teorema de Bayes; esto es lo que se denomina propagación de la evidencia. Gracias a los principios de dependencia e independencia condicional codificados por la estructura gráfica y a los algoritmos desarrollados para operar sobre ellos, los cálculos son realizados en un corto periodo de tiempo frente a lo que cabría esperar si tuviésemos que manejar todo el conjunto de variables que componen el modelo. En nuestro caso podríamos realizar los gráficos dirigidos acíclicos y las tablas de probabilidades para todas las especies características de cada asociación. A continuación veremos solo un ejemplo.

Para el caso de *Filago lutescens*, antes de realizar la propagación de la evidencia se observa que, de modo general, la mayoría de los parámetros edáficos son de amplio rango y que esta especie también puede encontrarse con diferente índice de abundancia/dominancia; sin embargo, cuando se establece la evidencia previa de que la especie se encuentra con el mayor índice de abundancia (9 en este caso), la propagación de la misma da como resultado una distribución característica y acotada para muchos de los atributos del suelo, lo que nos permite detectar que esta especie se encuentra en mayor abundancia en suelos de composición muy concreta y característica.

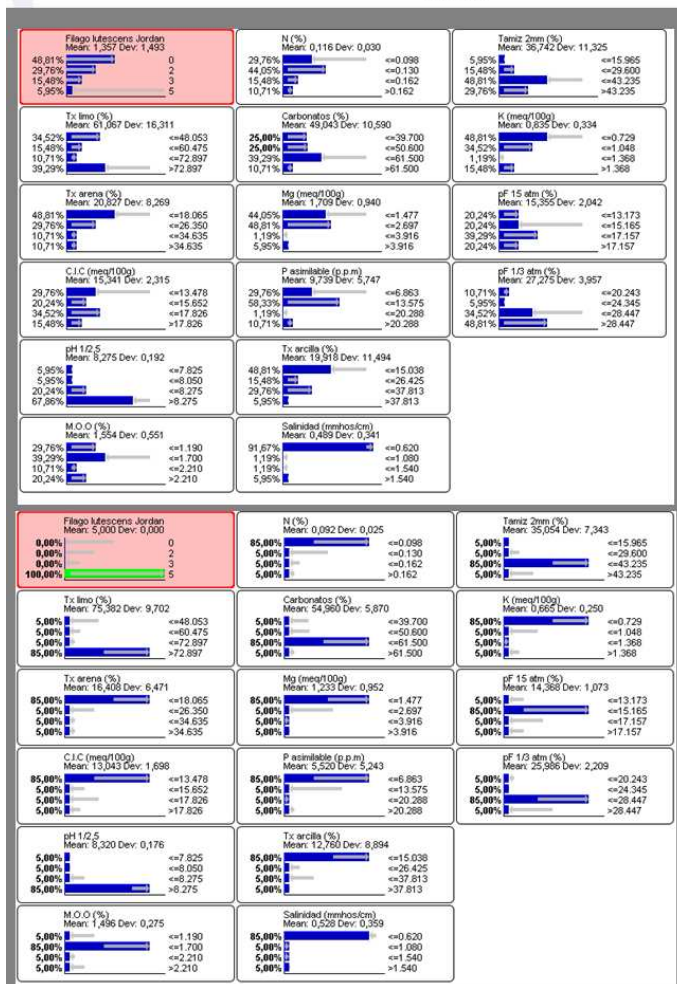
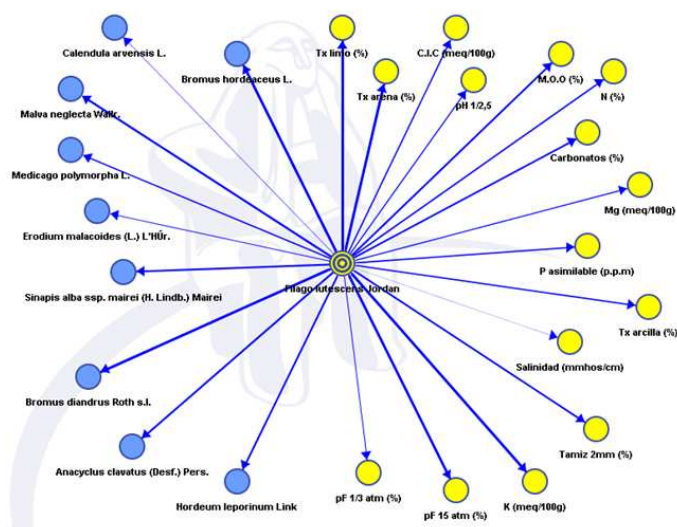


Figura 17. Red bayesiana y propagación de la evidencia para *Filago lutescens* en la asociación *Anacyclo radiati-Hordeetum leporini*.

Bibliografía

- [1] ALLMAN E.S.; RHODES J.A. *Mathematical Models in Biology. An Introduction*. Cambridge University Press, (2004)
- [2] ARANA J. Seminario impartido en Palencia el 5 de abril de 2001.
- [3] BATSCHELET E.; BRAND L.; STEINER A. *On the Kinetics of lead in the human body*. Journal of Mathematical Biology 15-23, (1979).
- [4] BELTRAMI E. *Mathematical Models for Society and Biology*. Academic Press, San Diego, (2002).
- [5] BORRELLI R.; COLEMAN C.S. *Ecuaciones diferenciales. Una perspectiva de modelización*. Oxford University Express, Mexico, (2002).
- [6] BRITTON N.F. *Essential Mathematical Biology*. Springer-Verlag, London, (2003).
- [7] CAUGHLEY G. *Mortality patterns in mammals*. Ecology, **47**, 906-918, (1966).
- [8] CAUGHLEY G.; GUNN A. *Conservation Biology in Theory and Practice*. Blackwell Science, Massachusetts, 147-149, (1996).
- [9] CHUN-LIAN ZHU; YA JIA; QUAN LIU; XUAN ZHAN *A mesoscopic stochastic mechanism of cytosolic calcium oscillations*, Biophysical Chemistry, 125, 201-212, (2007).
- [10] CONEJERO C.M.; MARTÍNEZ FUNES J.; NAVAS J.; ESTEBAN F.J. *Aplicación de la Geometría fractal a la Ecología de Paisajes*. Departamentos de Matemática y Biología Experimental, Universidad de Jaén, (2005).
- [11] DE L HAZA I.; COBO-MOLINOS J.; GARRIDO-GARCÍA M. NAVAS J.; RUEDA P.; TORRES C.; CARÚZ A.; ESTEBAN F.J. *Fractal dimension of U373 astrocytoma cells in DMEM or RPMI cultures*. HarFA -Harmonic and Fractal Image Analysis 94-96, (2005). [http : //www.fch.vutbr.cz/lectures/imagesci/download_ejournal/221.Haza.pdf](http://www.fch.vutbr.cz/lectures/imagesci/download_ejournal/221.Haza.pdf)
- [12] ESTEBAN F.J.; NAVAS J.; JIMÉNEZ J.P.; QUESADA J.M.; GOÑI J.; VÉLEZ DE MENDIZÁBAL N.; VILLOSLADA P. *System Dynamics*

as a tool in Stem Cells/Tissue Engineering. Histology and Histopathology, Suppl. 1, 150-151, (2005).

- [13] ESTEBAN F.J.; NAVAS J.; QUESADA J.M. *Aplicaciones bioinformáticas en la docencia de Modelos Matemáticos en Biología*. II Reunión de la Red de Bioninformática de Andalucía. Baeza, ESPAÑA.
- [14] FOLLARI, R. *Interdisciplinaridad, espacio ideológico*. Simposio sobre Alternativas Universitarias, UAM-Azcapotzalco, México, (1980).
- [15] FONTDEVILA, A. M. *Introducción a la genética de poblaciones*. Síntesis, Madrid 112-117,(1999).
- [16] FORESTER, J.W. *Principles of Systems*. SMIT Press, Cambridge, M.A.(1968).
- [17] GALACH, M. *Dynamics of the tumor-immune system competition. The effect of time delay*, Int. J. Appl. Math. Comput. Sci.,Vol. 13, nº 3, 395-406, (2003).
- [18] GARCÍA CASTRO A.; GARRIDO PALOMERA E., ENDRINO M.I.; NAVAS J.; ESTEBAN F.J. *Dimensión Fractal de Imágenes MRI-T2 en la enfermedad de Alzheimer*. Departamentos de Matemáticas y Biología Experimental, Universidad de Jaén, (2005).
- [19] GÜNDÜZ *Ancient and Current Chaos Theories*, Interdisciplinary Description of Complex Systems, Vol. 4, nº 1, 1-18, (2006).
- [20] HAEFNER, J.W. *Modeling Biological Systems. Principles and Applications*. Chapman and Hall, New York, (1996).
- [21] HANNON B.; RUTH M. *Modeling Dynamic Biological Systems*. Systems Springer, New York 82-86, (1997).
- [22] HANNON B.; RUTH M. *Modeling Dynamic Biological Systems*. Systems Springer, New York 65-68, (1997).
- [23] HARTLOVE J.; SHAFFER D.; RAGAN S. *Glucose-Insuline Model*. The Maryland Virtual High School of Science and Mathematics, (2001).
- [24] HORN H.S. *The ecology of secondary succession*. Annual Review of Ecology and Systematics 5:25-37, (1974).
- [25] LEMAIRE V.; TOBIN F.L.; GRELLER L.D.; CHO C.R.; SUVA L.J. *Modeling the interactions between osteoblast and osteoclast activities in bone remodeling*, Journal of Theoretical Biology, 229, 293-309, (2004).
- [26] LI B.L. *Ecological Modelling*, 132, 33-50, (2000).

- [27] MAHAFFY J.M.; ZYSKIND J.W. *A model for the initiation of replication in Escherichia coli.* Journal Theory Biology, **140**, 453-477, (1989).
- [28] MANDELBROT B. *The Fractal Geometry of Nature*, Eds. W.H.Freeman and Company, New York, (1983).
- [29] MARTÍN-GARCÍA J. *Teoría y Ejercicios Prácticos de Dinámica de Sistemas*, Barcelona, (2003).
- [30] NOWAK M.A.; MAY R.M. *Virus Dynamics*, Oxford University Press, New York 16-26, (2000).
- [31] MARUSIC M., BAJZER Z., FREYER J.P.; VUC-PAVLOVIC, S. *Analysis of growth of multicellular tumour spheroids by mathematical models.* Cell, Prolif., **27**, 73-94, (1994).
- [32] NAVAS J.; QUESADA J.M.; GOÑI J.; VÉLEZ DE MENDIZÁBAL N.; VILLOSLADA P.; ESTEBAN F.J. *Glioma-Immune evasion: a system dynamics approach.* proceedings of the II International Conference on Computational Bioengineering, 699-710, Rodrigues et al. (Eds.), IST Press, ISBN: 972-8469-37-3, (2005).
- [33] ORTEGA H. *Un modelo logístico para el crecimiento tumoral en presencia de células asesinas.* Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica, volumen **XX**, nº 3, 61-67, (1999).
- [34] RIOS, S. *Modelización*, Alianza Universidad, Madrid, (1995).
- [35] SERRANO C.; RODRÍGUEZ I.; MARTOS D.; NAVAS J.; ESTEBAN F.J. *Geometría Fractal de la Sustancia Blanca Cerebral durante el desarrollo de Esclerosis Múltiple.* Departamentos de Matemáticas y Biología Experimental, Universidad de Jaén, (2005).
- [36] SONG B.; THOMAS D.M. *Dynamics of starvation in humans.* Journal Mathematical Biology, 54, 27-43, (2007).
- [37] VRIES G. DE; HILLEN T.; LEWIS M.; MÜLLER, J. SCHÖNFISH B. *A Course in Mathematical Biology. Quantitative Modeling with Mathematical and Computational Methods.* SIAM (Mathematical Modeling and Computation) (2006).
- [38] WARTON D.A.; GRAHAM W. *An approach to the teaching of host-parasite population modelling.* International Journal for Parasitology vol. 19; 451-45, (1989).
- [39] WERNER P.A.; CASWELL H. *Population growth rates and age vs. stage distribution models for teasel (Dipsacus sylvestris) Huds.* Ecology 58: 1103-1111, (1977).

- [40] YEARGERS E.K.; SHONKWILER R.W.; HEROLD J.V. *An Introduction to the Mathematics of Biology: with Computer Algebra models*, Birkhäuser, Berlin, (1996).