

62500

**ANÁLISIS DE LOS VALORES DEL ÍNDICE DE
LLENADO DE UN ACUÍFERO, EN FUNCIÓN DE LAS
SERIES DE DATOS DE DIFERENTES PERIODOS DE
REFERENCIA.**

AÑO 2001



MINISTERIO
DE CIENCIA
Y TECNOLOGÍA



Instituto Geológico
y Minero de España



INFORME	Identificación: H4-017-01
	Fecha: 10-09-2002
TÍTULO: ANÁLISIS DE LOS VALORES DEL INDICE DE LLENADO DE UN ACUÍFERO, EN FUNCIÓN DE LAS SERIES DE DATOS DE DIFERENTES PERIODOS DE REFERENCIA	
PROYECTO: REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS (AÑOS 1999-2000-2001)	
RESUMEN <p>Los autores definen un indicador o índice de llenado que permite definir el estado de un acuífero, en el entorno de un punto de control piezométrico, en función de su nivel. Este valor permite comparar acuíferos de distintas cuencas, cuando el periodo de la serie de datos que se compara es el mismo.</p> <p>Este índice de llenado, comparando series de datos en un periodo de 10 años, se ha utilizado por la Confederación Hidrográfica del Júcar y por el Ministerio de Medio Ambiente en su Informe de Coyuntura.</p> <p>Los datos de niveles piezométricos existentes, son de diferentes fechas y las series de datos continuos, dispares en los diferentes acuíferos de España. Para poder comparar valores se necesita acotar series históricas de los mismos periodos de tiempo en el mayor número de acuíferos.</p> <p style="text-align: right;">(Ver atrás)</p>	
Revisión Nombre: Juan Antonio López Geta Unidad: Hidrogeología y Aguas Subterráneas Fecha: 10-09-2002	Autores: José María Pernía Llera María del Mar Corral Lledó Responsable: José María Pernía Llera

CORREO

igme@igme.es

RÍOS ROSAS, 23
28003-MADRID
TEL.: 91 349 5700
FAX: 91 442 6216

No encontramos que existen datos en 214 acuíferos, pero que coincidan series en los últimos 10 años solo tenemos en 182 de ellos. Este número de acuíferos con datos comunes baja a 166 y 102 como series históricas de 15 y 20 años.

Este estudio compara los valores que se obtienen para los mismos acuíferos con las series históricas de datos de los últimos 10, 15 y 20 años. Se analizan estadísticamente los valores obtenidos en cada cuenca, efectuándose también la comparación estadística a nivel nacional.

Como conclusión se obtiene que las series datos de los últimos 20 años es la más larga de las existentes, que nos permite efectuar cálculos comparativo. Utilizar la serie de 15 años permite aumentar el número de acuíferos en los que se puede aplicar el índice. También queda reflejado que realizar los cálculos con las series históricas de 15 y 20 años dan valores similares. No ocurre lo mismo con la serie de 10 años. Se recomienda utilizar para el cálculo del índice de llenado con los datos de los últimos 15 años, ya que este período reúne ambas ventajas.

**ANÁLISIS DE LOS VALORES DEL ÍNDICE DE
LLENADO DE UN ACUÍFERO, EN FUNCIÓN DE LOS
DATOS DE DIFERENTES PERIODOS DE REFERENCIA.**

El presente estudio ha sido realizado por:

Jose Maria Pernia Llera

María del Mar Corral Lledó

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN	1
2.- DEFINICIÓN DEL ÍNDICE DE LLENADO	2
3.- METODOLOGÍA EMPLEADA PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE	5
3.1.- Fichero "valores.dbf"	5
3.2.- Hojas de cálculo excell	5
4.- ANÁLISIS DEL PERIODO HISTÓRICO DE REFERENCIA MÁS IDÓNEO	8
4.1.- Variación del valor en función del periodo histórico de datos	8
4.2.- Ámbito en el que se pueden utilizar los índices	14
5.- COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS VALORES OBTENIDOS POR CUENCA	16
5.1.- Cuenca del Duero	16
5.2.- Cuenca del Tajo	18
5.3.- Cuenca del Guadiana	19
5.4.- Cuenca del Guadalquivir	21
5.5.- Cuenca del Sur Occidental	23
5.6.- Cuenca del Segura	25
5.7.- Cuenca del Júcar	27
5.8.- Cuenca del Ebro	29
5.9.- Cuenca del Baleares	31
6.- COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS VALORES A NIVEL NACIONAL Y CONCLUSIONES	33
ANEXOS: GRÁFICOS DE EVOLUCIÓN ANUAL DE LA CUENCA DEL JÚCAR	36

1.- INTRODUCCIÓN

El agua almacenada entre el fondo del acuífero y el valor del nivel de la oscilación piezométrica se conoce como reservas permanentes, muertas o seculares. Con independencia de la cantidad de reservas totales que puedan ser drenadas de un acuífero, el volumen de agua que permanece en él es imposible cuantificar sin el conocimiento de los parámetros físicos e hidráulicos que intervienen en su funcionamiento. Más viable resulta analizar la situación actual de llenado que presenta un acuífero comparando eventos históricos que han tenido lugar en él.

La situación de llenado que presenta un acuífero en una fecha concreta puede determinarse con la medida de los niveles piezométricos. Es cierto que la situación de llenado se refiere al entorno del punto de control, pero también es cierto que hacer extensivo este cálculo a la totalidad del acuífero, depende del número de puntos de control y del peso que tengan estos para su ponderación.

Se definió el índice de llenado en función de un periodo histórico de referencia, para conocer la situación de llenado de los piezómetros en dicho periodo. Para el cálculo de este índice se han venido utilizando las series históricas de los últimos diez años, ya que se consideraba un periodo lo suficientemente amplio para que en él, se reflejasen diversos tipos de eventos, como periodos de lluvia, sequía, etc.

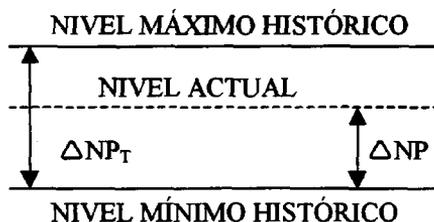
Sin embargo, se ha considerado necesario realizar una comparación entre los valores de los índices de llenado obtenidos con los datos de diferentes series históricas, de manera que pueda determinarse cuales son las ventajas e inconvenientes de utilizar cada uno de los periodos de tiempo y establecer el más idóneo.

En este trabajo se han tomado como periodos de históricos referencia para efectuar la comparación estadística, los relativos a los últimos diez, quince y veinte años.

2.- DEFINICIÓN DEL ÍNDICE DE LLENADO

El nivel de llenado en una fecha determinada relacionada con un periodo histórico, ha sido cuantificado por medio de un índice (PERNÍA y CORRAL, 2000) como el cociente entre el incremento del nivel medido respecto al nivel mínimo histórico y la diferencia de los valores máximos y mínimos de los niveles históricos en dicha fecha.

$$(N_h)_i = \frac{\Delta NP_i}{(\Delta NP_T)_i} = \frac{NP_i - (NP_{MIN})_i}{(NP_{MAX})_i - (NP_{MIN})_i}$$



siendo:

h periodo histórico (años).

I fecha (mes) en que se efectúa la medida.

NP nivel piezométrico medido en el mes.

NP_{MAX} nivel piezométrico máximo de la fecha en el periodo histórico considerado.

NP_{MIN} nivel piezométrico mínimo de la fecha en el periodo considerado.

Para el cálculo del índice de llenado debe incluirse la última medida en la serie de datos históricos, de este modo no existirán nunca valores superiores a uno, ni inferiores

a cero, de manera que el valor del índice está comprendido entre 0 y 1 ($0 \leq N_h \leq 1$), por lo cual se multiplicará por cien en el caso en que se desee reflejar porcentajes.

El índice, por tanto permite conocer en una fecha concreta el nivel de llenado en el entorno del punto de control considerado, en comparación con situaciones relativas a diferentes épocas, deduciéndose del mismo, el estado en que se encuentra el piezómetro en ese momento y permitiendo a su vez la comparación con otros piezómetros para obtener una visión de la situación del acuífero.

La ponderación de valores del nivel de llenado es la siguiente:

$N_h = 1$	Mayor nivel del periodo histórico.
$0,5 < N_h < 1$	Recuperación del nivel.
$N_h = 0,5$	Valor medio del periodo histórico.
$0,3 \leq N_h < 0,5$	Acuífero o área con explotación fuerte.
$0,15 \leq N_h < 0,3$	Acuífero o área con explotación intensiva.
$0 < N_h < 0,15$	Acuífero con riesgo de sobreexplotación.
$N_h = 0$	Menor nivel del periodo histórico.

El cálculo del índice de llenado puede ir acompañado de un gráfico en el cual se representen simultáneamente la curva de evolución piezométrica y las curvas de máximos y mínimos mensuales, lo cual permite hacer una valoración de la situación anual de llenado de los piezómetros en función de los valores máximos y mínimos del periodo histórico de referencia considerado.

La representación gráfica se realiza utilizando el sistema cartesiano. En el eje de abcisas se sitúan los meses del año, siendo el último valor considerado el del mes en el que se obtiene el índice N_h y el primero el mismo mes del año anterior. En el eje de ordenadas se pueden poner valores absolutos o bien relativos, situando el origen donde se desee, aunque es aconsejable ponerlo en el mes del año anterior al del análisis de

datos, ya que de esta forma pueden compararse los niveles piezométricos y conocer si existe un mayor o menor llenado respecto a la misma época del año anterior (véase gráfica N°1).

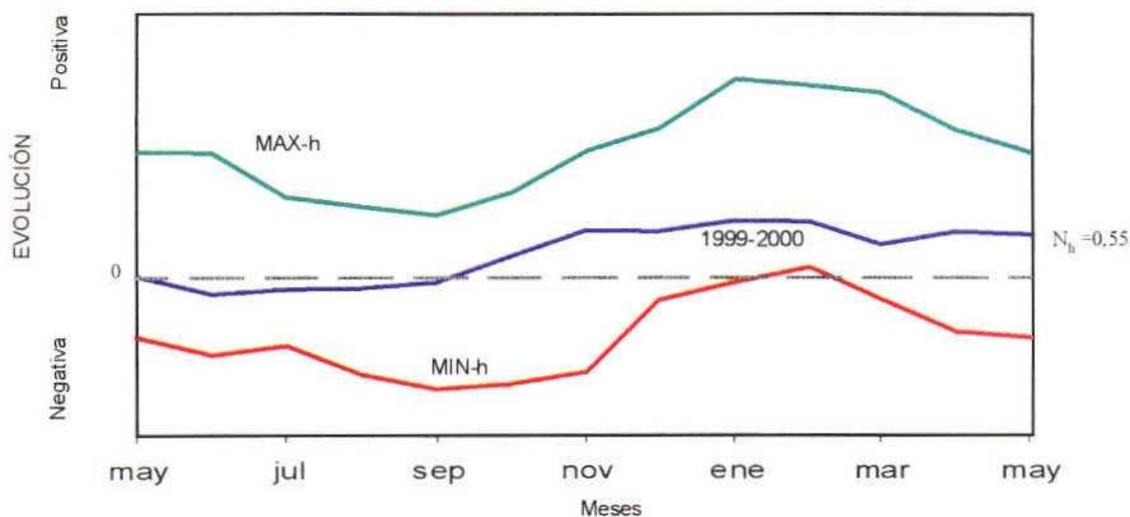


Figura n°1. Evolución anual de llenado de un acuífero e índice de llenado

3.- METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE

El cálculo del índice de llenado requiere una serie de datos históricos de los niveles piezométricos. El Instituto Geológico y Minero de España cuenta con esta serie de datos históricos en su Base de Datos Aguas, que se basan en medidas periódicas, generalmente de dos a cuatro anuales, si bien en algunos acuíferos actualmente se están tomando medidas mensuales.

El tratamiento estadístico necesario para calcular el valor del índice de llenado precisa del conocimiento del nivel piezométrico mensual para la obtención de la curva de máximos y mínimos del periodo considerado. Este hecho condiciona que los datos a tratar sean reales en los meses de medida, mientras que en el resto de los meses sean datos interpolados. Es fundamental para cada serie de datos su análisis de fiabilidad, aunque está en general es admisible, ya que se tienen suficientes datos históricos y además los niveles controlados incluyen los valores máximos y mínimos anuales, por tanto resulta fiable la interpolación de los datos.

3.1.- Fichero “valores.dbf”

El IGME tiene una base de datos central en ORACLE gestionada desde Madrid y bases de datos regionales en DBASE, que son gestionadas desde las distintas Oficinas de Proyectos. Asociados a estas bases de datos regionales, existen diversos programas informáticos (ITGEGRAF, CARGAGUA, METEO, etc.), con el objeto de facilitar tanto la labor de gestión de las oficinas, como el tratamiento estadístico de los datos para la elaboración de diferentes informes.

El programa ITGEGRAF tiene distintas opciones, entre otras las salidas gráficas y la generación de diversos ficheros entre los cuales está el denominado “valores.dbf”. En él se encuentran los valores mensuales de los niveles piezométricos, interpolados en aquellos meses en los que no existen medidas reales.

Para obtener dicho fichero deberá seguirse los siguientes pasos:

1. Entrar en el programa ITGEGRAF.
2. En el menú del programa, escoger la opción FILTRO y dar a la tecla INTRO.
3. Escoger la opción 3. NÚMERO DE INVENT. INTRO.
4. Introducir el número de registro nacional del piezómetro. INTRO.
5. Ir a la opción del menú LISTADOS. INTRO.
6. Escoger la opción 4. RESUMEN. INTRO.

Esta opción genera un gráfico de salida con la evolución del piezómetro y el fichero "valores.dbf" que se encuentra en el directorio C:\ITGEGRAF\FRESUMEN, necesario para el cálculo del índice de llenado. Una vez obtenido éste, debe copiarse para introducirlo posteriormente en las hojas de calculo de Excel para lo cual debe realizarse los pasos que se detallan a continuación:

1. Entrar en MS-DOS.
2. Teclar CD ITGEGRAF ↵.
3. Teclar CD RESUMEN ↵.
4. Teclar COPY VALORES:DBF A: ↵.

La estructura del fichero "valores.dbf" es la que se describe a continuación (tabla nº 1).

Tabla nº 1. Estructura del fichero "valores.dbf"

05.43	15/01/80	0,000	0,000	0,000	3	VERDADERO	1
05.43	15/02/80	-1,396	-0,936	-2,177	3	VERDADERO	1
05.43	15/03/80	-2,465	-1,550	-4,096	3	VERDADERO	1
05.43	15/04/80	-2,824	-1,615	-5,454	0	VERDADERO	1
05.43	15/05/80	-3,184	-1,680	-6,813	3	VERDADERO	1
05.43	15/06/80	-3,784	-2,157	-8,361	3	VERDADERO	1
05.43	15/07/80	-4,273	-2,377	-9,822	0	VERDADERO	1
05.43	15/08/80	-4,763	-2,597	-11,283	0	VERDADERO	1
05.43	15/09/80	-5,252	-2,817	-12,744	3	VERDADERO	1
05.43	15/10/80	-4,739	-1,980	-13,414	3	VERDADERO	1
05.43	15/11/80	-4,771	-0,610	-14,514	3	VERDADERO	1
05.43	15/12/80	-4,743	0,070	-15,567	3	VERDADERO	1

U.H.:	En esta primera columna figura la unidad hidrogeológica en la que se encuentra el piezómetro.
FECHA:	Contiene los datos interpolados para el día 15 de cada mes.
VALOR:	Valor del nivel piezométrico para cada mes.
MÁXIMO:	Cuando el cálculo se realiza para toda la unidad hidrogeológica, indica el valor del máximo registrado.
MÍNIMO:	Cuando el cálculo se realiza para toda la unidad hidrogeológica, indica el valor del mínimo registrado.
NUMMEDI:	Indica El número de medidas existentes en el mes.
DATOBUENO:	Solo puede tomar dos valores, verdadero o falso. Verdadero cuando existen medidas y falso cuando no hay datos.
NDAT:	Siempre tiene valor 1, ya que para cada mes se genera un dato.

3.2.- Hojas de cálculo excell

Para la ejecución de este trabajo, ha sido preciso elaborar tres hojas de cálculo excell informatizadas, para obtener el valor de la curva de evolución anual de llenado y las curvas de máximos y mínimos para el periodo considerado, así como el valor del índice de llenado. La primera de ellas proporciona el valor de las curvas e índice de llenado N_{10} anteriormente descrito para el periodo histórico de los últimos diez años; la segunda para el periodo histórico de los últimos quince años (N_{15}) y la tercera para el periodo de los veinte últimos años (N_{20}).

El manejo de estas hojas de cálculo es sencillo, basta con seleccionar las tres primeras columnas del fichero "valores.dbf" generado con el ITGEGRAF, a partir de la fecha de la cual se requieran los datos y copiarlas situándose para ello en la celda A2 de la hoja de cálculo. La hoja realiza el cálculo automático de los valores de las distintas curvas y del índice de llenado.

- MIN10: hoja para el cálculo de las curvas y del índice de llenado N_{10} .
- MIN15: hoja para el cálculo de las curvas y del índice de llenado N_{15} .
- MIN20: hoja para el cálculo de las curvas y del índice de llenado N_{20} .

4.- ANÁLISIS DEL PERIODO HISTÓRICO DE REFERENCIA MÁS IDÓNEO

Para el cálculo del índice de llenado, se han venido utilizando las series históricas de datos de los últimos diez años, tal y como se refleja en diferentes trabajos (PERNÍA, J.M., et. al., 2000) y (MIMAM, 1999 y 2000), ya que este periodo de referencia podía ser considerado lo suficientemente amplio como para que en el se reflejasen diversos tipos de eventos (periodos de lluvia, sequía, etc.). No obstante, en ocasiones al realizar el cálculo del índice para distintos periodos(diez, quince y veinte años), se han obtenido valores dispares.

Por este motivo se pretende analizar detalladamente, las distintas situaciones en función del periodo histórico de datos y determinar las ventajas e inconvenientes de cada uno de los periodos de tiempo, con objeto de establecer cual de ellos es el más idóneo.

4.1.- Variación del valor en función del periodo histórico de datos

El índice de llenado está definido en función del nivel piezométrico del mes en el que se quiere realizar el cálculo y de los valores máximos y mínimos del periodo histórico de referencia, por tanto debe analizarse que ocurre cuando varia el periodo de tiempo a considerar. Al tomarse periodos de tiempo diferentes el valor del nivel piezométrico medido en el mes permanece constante, mientras que pueden producirse variaciones en el valor máximo y mínimo registrados, es decir que las grandes oscilaciones de uno solo de los valores en años que se sitúan fuera del periodo de tiempo considerado para el cálculo proporcionará valores distintos del índice.

A continuación se detallan los distintos casos que puede darse, al comparar el valor del índice obtenido en función de dos periodos de tiempo m y n (años), siendo $m > n$.

A.- Valores superiores de la evolución de máximos en años anteriores al periodo.

Al realizar el cálculo del índice N_m , la curva de valores máximos de los últimos m años, presenta valores mayores que la curva de máximos obtenida con el índice de los últimos n años N_n , mientras que la curva de mínimos puede presentar valores menores o iguales. No obstante el incremento en los valores de la curva de máximos es superior al posible decremento de los valores de la curva de mínimos, lo que supone que se obtiene un nivel de llenado inferior cuando se realiza el cálculo del índice de llenado N_m respecto al que se tiene cuando este cálculo se realiza con el índice de llenado N_n .

Para la demostración se parte de la hipótesis más sencilla, que consistente en la existencia en años anteriores al periodo histórico considerado en el cálculo del índice N_n de valores máximos más acusados mientras que los valores mínimos son semejantes, entonces el índice N_m es menor que N_n .

$$(NP_{\max})_m > (NP_{\max})_n \quad \text{y} \quad (NP_{\min})_m \approx (NP_{\min})_n$$

$$\left\{ \begin{array}{l} (\Delta NP_T)_m = (NP_{\max})_m - (NP_{\min})_m \\ (\Delta NP_T)_n = (NP_{\max})_n - (NP_{\min})_n \end{array} \right\} \quad (\Delta NP_T)_m > (\Delta NP_T)_n$$

$$\frac{\Delta NP_m}{(\Delta NP_T)_m} < \frac{\Delta NP_n}{(\Delta NP_T)_n}$$

con lo que:

$$N_m < N_n$$

Se obtiene que el índice de llenado al considerar el periodo de los últimos 10 o 20 años proporciona resultados distintos, tal y como se aprecia en la figura nº 2, siendo el valor de llenado menor al considerar la serie de tiempo más larga.

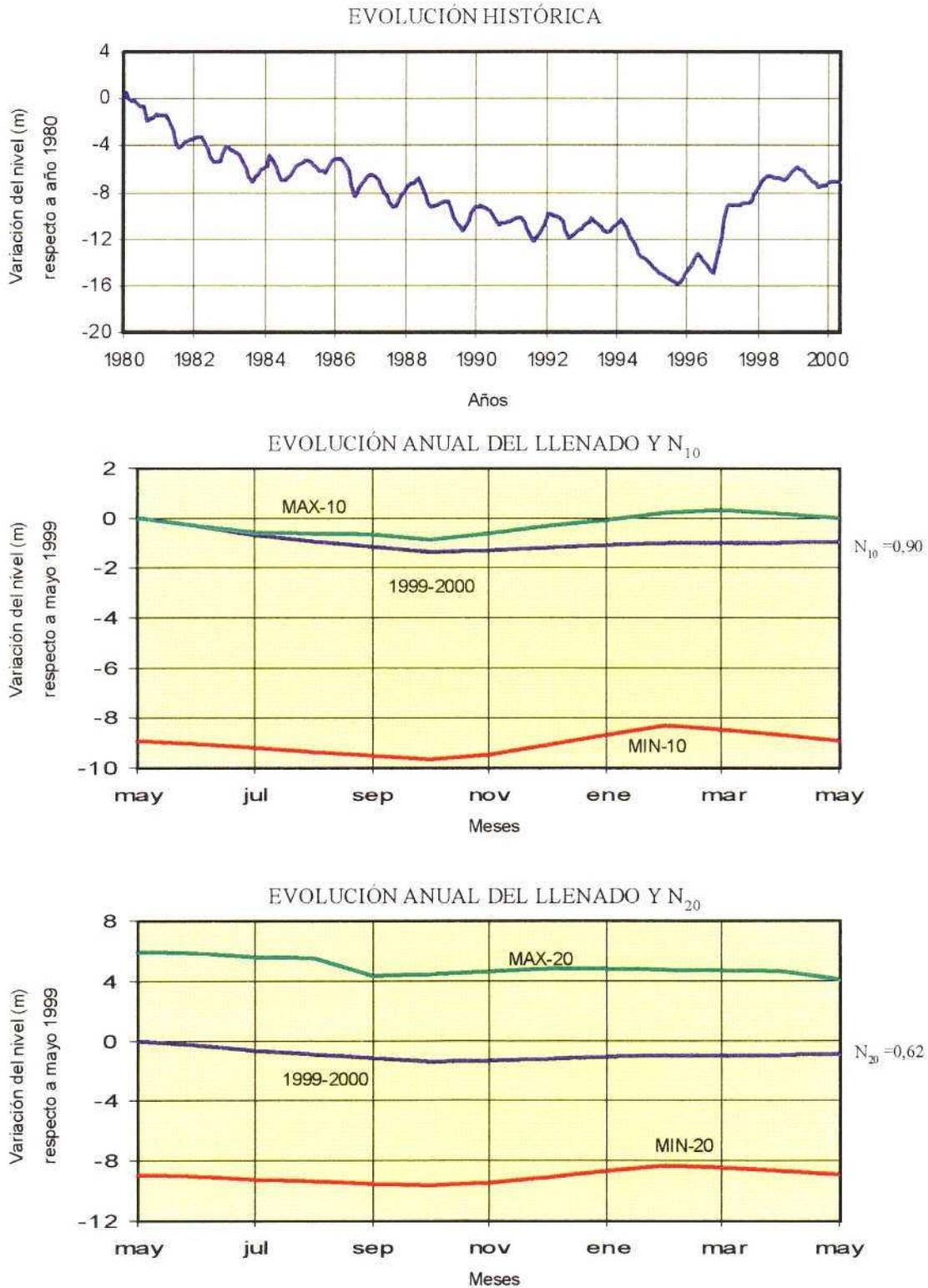


Figura nº 2. Gráficos de evolución histórica y de llenados anuales en periodos de 10 y 20 años

B.- Valores inferiores de la evolución de mínimos, en años anteriores al periodo

Al representar la curva de evolución piezométrica histórica puede que se observen valores inferiores de los niveles piezométricos en años anteriores al periodo n considerado, para el cálculo del valor el índice de llenado N_n . Si se incorporan los datos piezométricos correspondientes al periodo de m años, para hacer el cálculo del índice N_m , los valores correspondientes a la curva de mínimos descienden debido a la existencia de niveles piezométricos menores en este último intervalo de tiempo.

Puede ocurrir que además halla variaciones en la curva de máximos, incrementándose los valores correspondientes a esta, de cualquier forma el incremento en los valores de la curva de máximos es notablemente inferior al decremento de los valores de la curva de mínimos, consecuentemente el valor del índice de llenado N_m refleja un mayor llenado que cuando se obtiene el valor del índice de llenado N_n de los últimos n años.

La hipótesis de partida más sencilla consistiría, en la existencia de valores mínimos más acusados, en años anteriores al periodo histórico considerado en el cálculo del índice N_n mientras que los valores máximos serían similares. Siguiendo un razonamiento idéntico al anterior se llegaría a que el índice N_m es menor que N_n :

$$\left\{ \begin{array}{l} (NP_{\min})_m > (NP_{\min})_n \\ \text{y} \\ (NP_{\max})_m \approx (NP_{\max})_n \end{array} \right\} = N_m > N_n$$

A continuación se han representado tres gráficos, el primero con la curva de evolución histórica y los otros dos con los gráficos de llenados anuales considerando como ejemplo los periodos de tiempo de los diez y veinte últimos años, tal y como se recoge en la figura nº 3.

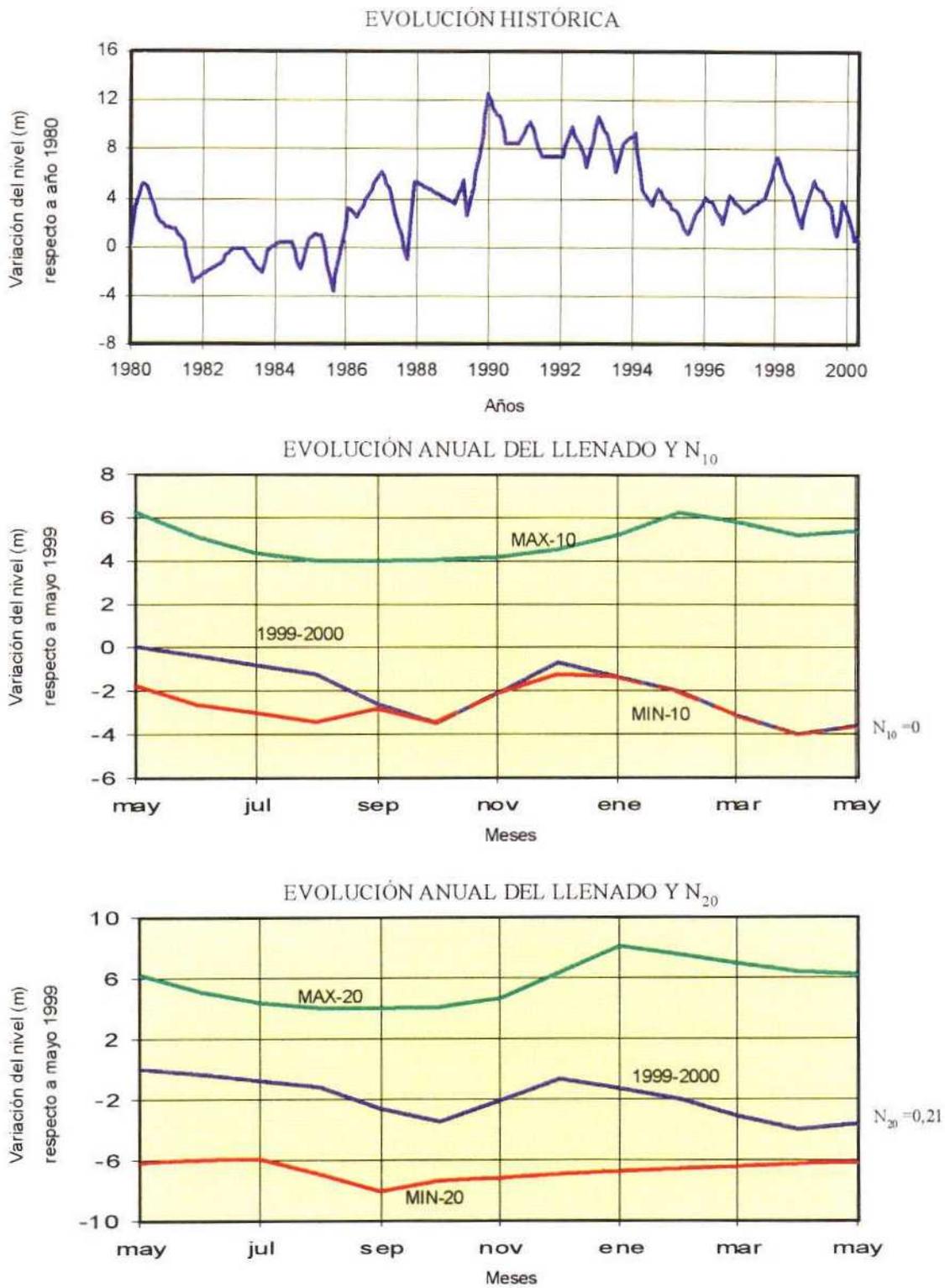


Figura nº 3. Gráficos de evolución histórica y de llenados anuales en periodos de 10 y 20 años

C.-Valores indistintos de la evolución entre los años de los periodos.

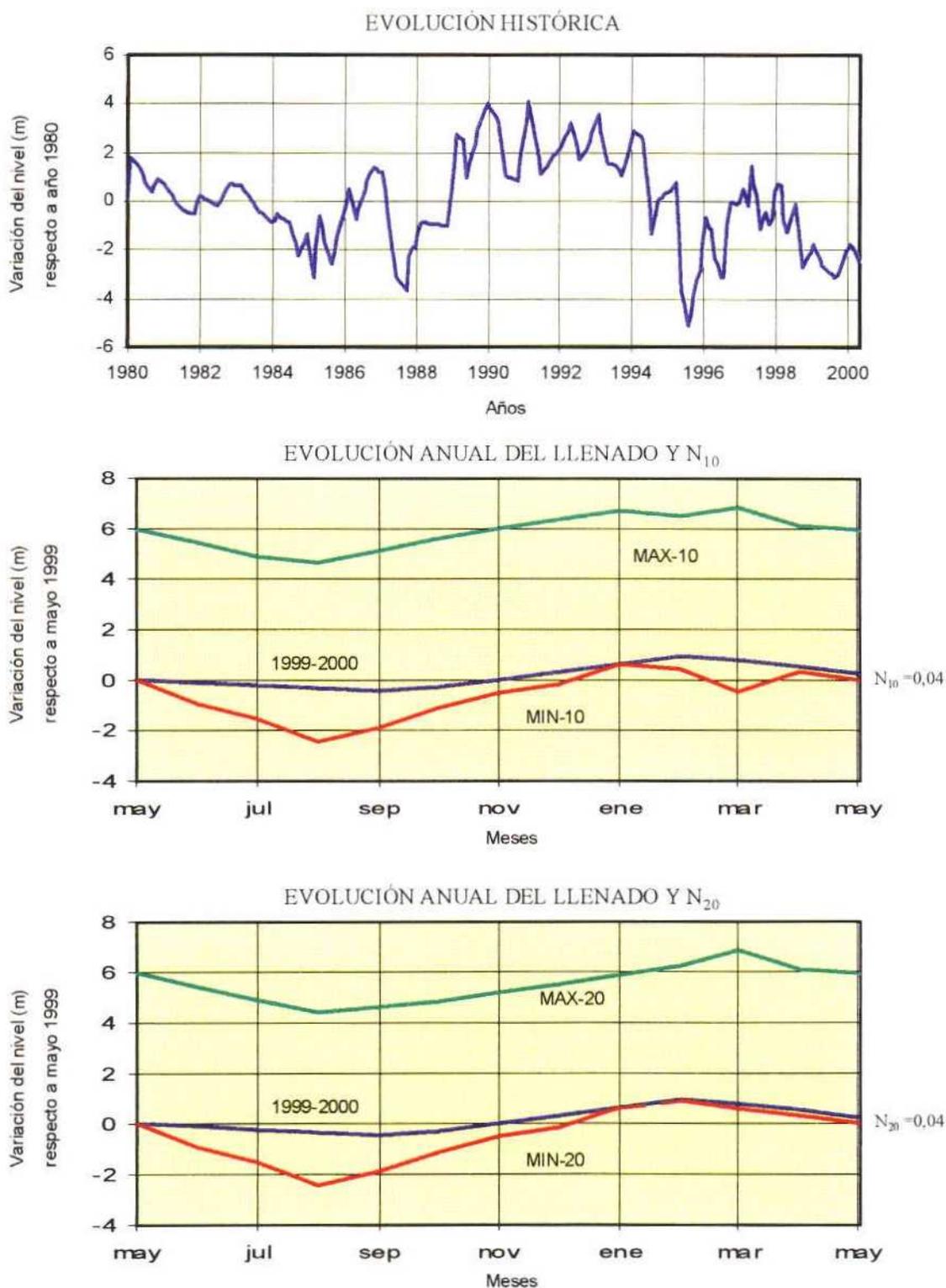


Figura nº 4. Gráficos de evolución histórica y de llenados anuales en periodos de 10 y 20 años.

En estos casos se obtiene un valor del índice de llenado similar, al calcularlo con series históricas de diferentes periodos de tiempo (ver figura nº 4). Es decir que los índices de llenado N_m y N_n tienen un valor igual o muy parecido. Lo que sucede cuando o bien la curva de máximos y la curva de mínimos no varían para los dos periodos de tiempo considerados; o bien el incremento del valor máximo y el decremento del valor mínimo es aproximadamente del mismo orden de magnitud.

4.2.- Ámbito en el que se pueden utilizar los índices

El cálculo del llenado de los acuíferos por medio de los índices de llenado precisa de un requisito imprescindible, que es la existencia de series de datos temporales en el periodo de tiempo considerado.

El IGME mantiene actualmente operativas, redes de observación de las Aguas Subterráneas. Estas redes, entre las que se encuentra la Red de Control de Piezometría, se establecieron al principio de los años 70, dentro del PIAS y han ido siendo modificadas y optimizadas a lo largo del tiempo, no obstante se mantienen muchos de los puntos de control desde entonces, por lo cual existen series largas de datos temporales en su Base de Datos Aguas.

Al analizar el espectro de las series temporales de los niveles piezométricos y la distribución geográfica en al cual sean obtenido (ITGE, 1998), se observa un panorama que condiciona la selección del periodo de tiempo al cual se refiere el cálculo del índice de llenado de los acuíferos, puesto que si lo se desea es poder comparar el resultado de los valores del índice obtenidos en distintos piezómetros o incluso en distintos acuíferos, es necesario que sean iguales los periodos de tiempo considerados para su cálculo y que se hayan tomado en situaciones similares.

Las unidades hidrogeológicas controladas por el IGME, se resumen en la tabla nº 2, en ella figuran además por cuencas hidrográficas, el número de unidades hidrogeológicas que tienen series continuas de los últimos diez, quince y veinte años.

Tabla nº 2. Unidades hidrogeológicas controladas por el IGME

CUENCA	U.H.	CON SERIES HISTÓRICAS			CON DATOS
		N ₂₀	N ₁₅	N ₁₀	
DUERO		12	12	13	13
TAJO		3	4	4	6
GUADIANA		8	10	10	11
GUADALQUIVIR		14	22	23	26
SUR OCCIDENTAL		7	19	21	26
SEGURA		16	24	27	27
JÚCAR		29	34	36	44
EBRO		7	13	17	26
C.I. CATALUÑA		0	13	16	19
MALLORCA		6	10	10	10
IBIZA		0	5	5	6
TOTAL		102	166	182	214

Las unidades en las cuales el IGME ha controlado los niveles piezométricos son 214, en las que se estiman un total de 2.655 piezómetros. No obstante no puede en todos ellos realizarse el cálculo del índice de llenado, pues no siempre son series continuas, ni se continúan midiendo los mismos puntos, aunque estén en el mismo acuífero.

El índice de llenado en función del periodo histórico de los últimos diez años (N₁₀), puede obtenerse en los piezómetros de 182 unidades hidrogeológicas.

Al considerar el periodo de tiempo de los últimos quince años, este número descende, siendo en los piezómetros de 166 unidades en los cuales puede realizarse el cálculo del índice de llenado (N₁₅).

Si se considera el periodo histórico de 20 años, serían los piezómetros de 102 unidades hidrogeológicas en los cuales el IGME ha tomado datos de continuo, pudiendo efectuarse en ellos el cálculo del índice de llenado (N₂₀).

5.- COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS VALORES OBTENIDOS POR CUENCAS.

Comparar los valores de llenado obtenidos con los índices N_{10} , N_{15} y N_{20} relativos a los últimos diez, quince y veinte años, precisa que los piezómetros tengan series históricas de datos continuos de los últimos 20 años. Por esta razón se ha realizado el cálculo del índice de llenado para los piezómetros de las 102 unidades hidrogeológicas reseñadas anteriormente, ya que son las únicas que tienen series de datos suficientes.

La finalidad consiste en poder comparar entre sí, los valores de los índices de llenado obtenidos con los datos de las diferentes series históricas, de manera que pueda determinarse cuales son las ventajas e inconvenientes de utilizar cada uno de los periodos de tiempo y establecer el más idóneo.

A continuación se realiza una comparación estadística de los valores obtenidos de los índices de llenado para el mes de mayo de 2000, por cuencas hidrográficas y para las unidades hidrogeológicas con series de datos temporales suficientes.

5.1.- Cuenca del Duero

La Cuenca del Duero se compone de 22 unidades hidrogeológicas, de las cuales en 12 de ellas existen series continuas y suficientes para realizarse una comparación estadística de los valores de los índices de llenado obtenidos en los tres diferentes periodos de tiempo considerados.

El valor correspondiente a los índices de llenado para cada unidad hidrogeológica se indican en la tabla nº 3, en la cual también se refleja el número de la unidad y su nombre.

Tabla n° 3. Valores de los índices de llenado. Cuenca del Duero.

N° U.H.	NOMBRE	VALORES DEL ÍNDICE DE LLENADO		
		N ₁₀	N ₁₅	N ₂₀
02.04	Rañas del Esla-Cea	0,03	0,01	0
02.05	Rañas del Cea-Carrión	0,10	0,07	0,05
02.06	Región del esla-Valderaduey	0,22	0,71	0,78
02.08	Central del Duero	0,22	0,11	0,07
02.09	Burgos-Aranda	0,13	0,07	0,04
02.13	Páramo de Cuellar	0,52	0,52	0,52
02.14	Páramo del Duratón	1	0,90	0,86
02.15	Cubeta de Almazán	0,33	0,23	0,20
02.17	Región de los Arenales	0,37	0,26	0,19
02.19	Ciudad Rodrigo-Salamanca	0,98	0,75	0,79
02.18	Segovia	0,30	0,13	0,13
02.21	Valle de Ambles	0,54	0,36	0,31

Se han comparado los valores obtenidos de los tres índices de llenado, con el objeto de determinar si éstos son distintos o aproximadamente iguales, estableciéndose una tolerancia de $\pm 10\%$, tal y como se refleja en la tabla n° 4.

Tabla n° 4. Comparación entre los valores de índices de llenado N₂₀, N₁₅ y N₁₀.

N° U.H.	NOMBRE	COMPARACIÓN DE VALORES DEL ÍNDICE DE LLENADO					
		N ₂₀ ≠ N ₁₀	N ₂₀ ≈ N ₁₀ Tolerancia $\pm 10\%$	N ₂₀ ≠ N ₁₅	N ₂₀ ≈ N ₁₅ Tolerancia $\pm 10\%$	N ₁₅ ≠ N ₁₀	N ₂₀ ≈ N ₁₅ Tolerancia $\pm 10\%$
02.04	Rañas del Esla-Cea		X		X		X
02.05	Rañas del Cea-Carrión		X		X		X
02.06	Región del esla-Valderaduey	X			X	X	
02.08	Central del Duero	X			X	X	
02.09	Burgos-Aranda		X		X		X
02.13	Páramo de Cuellar		X		X		X
02.14	Páramo del Duratón	X			X		X
02.15	Cubeta de Almazán	X			X		X
02.17	Región de los Arenales	X			X	X	
02.19	Ciudad Rodrigo-Salamanca	X			X	X	
02.18	Segovia		X		X	X	
02.21	Valle de Ambles	X			X	X	
TOTAL		7	5	0	12	6	6
FRECUENCIA RELATIVA		0,58	0,42	0	1	0,50	0,50

Al comparar los valores de los índices N_{20} y N_{10} , se observa que en 7 unidades hidrogeológicas se obtienen valores distintos de N_{20} y N_{10} , mientras que N_{20} es igual a N_{10} en 5 unidades. La frecuencia relativa es por tanto de 0,58 para $N_{20} \neq N_{10}$ y de 0,42 para $N_{20} \approx N_{10}$.

Los resultados obtenidos al comparar los valores de los índices de llenado N_{20} y N_{15} , indican que ambos son iguales en las 12 unidades hidrogeológicas de la Cuenca del Duero donde existen datos suficientes, es decir que la frecuencia relativa es de 1 para $N_{20} \approx N_{15}$.

La comparación entre los valores de los índices N_{15} y N_{10} , refleja que en la mitad de las unidades se cumple que N_{15} es igual a N_{10} . Por lo cual la frecuencia relativa es de 0,5 para $N_{15} \neq N_{10}$ y de 0,5 para $N_{15} \approx N_{10}$.

5.2.- Cuenca del Tajo

En la Cuenca del Tajo existen 13 unidades hidrogeológicas, de éstas solo en tres puede realizarse la comparación entre los valores del índice de llenado obtenidos para los periodos de referencia de 10, 15 y 20 años, puesto que el resto de las unidades no tiene datos suficientes que permitan dicha comparación.

El valor de los índices de llenado, así como el número y nombre de la unidad se indican en la tabla nº 5.

Tabla nº 5. Valores de los índices de llenado. Cuenca del Tajo.

Nº U.H.	NOMBRE	VALORES DEL ÍNDICE DE LLENADO		
		N_{10}	N_{15}	N_{20}
03.04	Guadalajara	0,18	0,06	0,05
03.05	Madrid-Talavera	0	0	0
03.06	La Alcarria	0	0	0

Una vez obtenido el valor de los índices N_{20} , N_{15} y N_{10} se ha realizado la comparación entre ellos, como se refleja en la tabla nº 6.

Tabla nº 6. Comparación entre los valores de índices de llenado N_{20} , N_{15} y N_{10} .

Nº U.H.	NOMBRE	COMPARACIÓN DE VALORES DEL ÍNDICE LLENADO					
		$N_{20} \neq N_{10}$	$N_{20} \approx N_{10}$ Tolerancia $\pm 10\%$	$N_{20} \neq N_{15}$	$N_{20} \approx N_{15}$ Tolerancia $\pm 10\%$	$N_{15} \neq N_{10}$	$N_{20} \approx N_{15}$ Tolerancia $\pm 10\%$
03.04	Guadalajara	X			X	X	
03.05	Madrid-Talavera		X		X		X
03.06	La Alcarria		X		X		X
TOTAL		1	2	0	3	1	2
FRECUENCIA RELATIVA		0,33	0,67	0	1	0,33	0,67

Al comparar los valores de los índices N_{20} y N_{10} , se observa que en 1 unidad hidrogeológica se obtienen valores distintos de N_{20} y N_{10} , mientras que N_{20} es igual a N_{10} en 2 unidades. La frecuencia relativa es por tanto de 0,33 para $N_{20} \neq N_{10}$ y de 0,67 para $N_{20} \approx N_{10}$.

Los resultados obtenidos al comparar los valores de los índices de llenado N_{20} y N_{15} , indican que ambos son iguales en las 3 unidades hidrogeológicas de la Cuenca del Tajo donde existen datos suficientes, es decir que la frecuencia relativa es 1 para $N_{20} \approx N_{15}$.

La comparación entre los valores de los índices N_{15} y N_{10} , refleja un caso análogo al de comparación de los índices N_{15} y N_{10} , es decir que en una unidad hidrogeológica se obtienen valores distintos de N_{15} y N_{10} y por tanto la frecuencia relativa es de 0,33, mientras que N_{15} es igual a N_{10} en 2 unidades siendo su frecuencia de 0,67.

5.3.- Cuenca del Guadiana

En la Cuenca del Guadiana se han realizado los cálculos en 8 unidades hidrogeológicas de las 12 que componen la cuenca.

El valor correspondiente a los índices de llenado N_{20} , N_{15} y N_{10} para cada unidad hidrogeológica se indican en la tabla nº 7 además en ella se refleja número y nombre de la unidad.

Tabla nº 7. Valores de los índices de llenado. Cuenca del Guadiana.

Nº U.H.	NOMBRE	VALORES DEL ÍNDICE DE LLENADO		
		N_{10}	N_{15}	N_{20}
04.01	Sierra de Altomira	0,64	0,30	0,30
04.02	Lillo-Quintanar	0,72	0,72	0,65
04.03	Consuegra-Villacañas	0,51	0,41	0,40
04.04	Mancha Occidental	0,90	0,85	0,62
04.05	Ciudad Real	0,82	0,82	0,82
04.06	Campos de Montiel	0,55	0,40	0,33
04.07	Bullaque	0,53	0,53	0,53
04.12	Ayamonte-Huelva	1	0,70	0,81

La comparación entre los valores obtenidos de los índices de llenado N_{20} , N_{15} y N_{10} para cada unidad hidrogeológica, se refleja en la tabla nº 8.

Tabla nº 8. Comparación entre los valores de índices de llenado N_{20} , N_{15} y N_{10} .

Nº U.H.	NOMBRE	COMPARACIÓN DE VALORES DEL ÍNDICE DE LLENADO					
		$N_{20} \neq N_{10}$	$N_{20} \approx N_{10}$ Tolerancia $\pm 10\%$	$N_{20} \neq N_{15}$	$N_{20} \approx N_{15}$ Tolerancia $\pm 10\%$	$N_{15} \neq N_{10}$	$N_{20} \approx N_{15}$ Tolerancia $\pm 10\%$
04.01	Sierra de Altomira	X			X	X	
04.02	Lillo-Quintanar		X		X		X
04.03	Consuegra-Villacañas	X			X		X
04.04	Mancha Occidental	X		X			X
04.05	Ciudad Real		X		X		X
04.06	Campos de Montiel	X			X	X	
04.07	Bullaque		X		X		X
04.12	Ayamonte-Huelva	X			X	X	
TOTAL		5	3	1	7	3	5
FRECUENCIA RELATIVA		0,63	0,37	0,12	0,88	0,37	0,63

Los resultados obtenidos al comparar los valores de los índices de llenado N_{20} y N_{10} , indican que en 5 unidades hidrogeológicas se obtienen valores distintos de N_{20} y N_{10} , mientras que N_{20} es igual a N_{10} en 3 unidades. La frecuencia relativa es por tanto de 0,63 para $N_{20} \neq N_{10}$ y de 0,37 para $N_{20} \approx N_{10}$.

Al comparar los valores de los índices N_{20} y N_{15} , se observa que en 1 unidad hidrogeológica se obtienen valores distintos de N_{20} y N_{15} , mientras que N_{20} es igual a N_{15} en 7 unidades. La frecuencia relativa para $N_{20} \neq N_{15}$ es de 0,33 mientras que para $N_{20} \approx N_{15}$ es de 0,67.

La comparación entre los valores de los índices N_{15} y N_{10} , refleja que en 3 unidades hidrogeológicas se obtienen valores distintos de N_{15} y N_{10} y por tanto la frecuencia relativa es de 0,37, mientras que N_{15} es igual a N_{10} en 2 unidades siendo su frecuencia de 0,63.

5.4.- Cuenca del Guadalquivir

El IGME actualmente realiza el control de la medida de los niveles piezométricos en 26 unidades hidrogeológicas de las 64 que componen la Cuenca del Guadalquivir. No obstante, solamente puede realizarse la comparación estadística de los valores de los índices de llenado N_{20} , N_{15} y N_{10} obtenidos para los periodos de los veinte, quince y diez últimos años en 14 unidades hidrogeológicas, ya que en el resto de las unidades controladas no existen series de datos continuas o estas series no son suficientes.

El valor correspondiente a los índices de llenado para cada unidad hidrogeológica de la Cuenca del Guadalquivir se indican en la tabla nº 9, en la cual también se refleja, el número de la unidad y su nombre.

Tabla nº 9. Valores de los índices de llenado. Cuenca del Guadalquivir.

Nº U.H.	NOMBRE	VALORES DEL ÍNDICE DE LLENADO		
		N ₁₀	N ₁₅	N ₂₀
05.04	Huéscar-Puebla de D. Fabrique	0,27	0,21	0,14
05.05	Sierra de la Zarza	0	0	0
05.06	Orce-María	0,02	0,02	0,01
05.12	Depresión Guadix-Marquesado	0,70	0,70	0,65
05.43	Sierra de Estepa	0,56	0,56	0,56
05.46	Aluvial del Guadalquivir	0,57	0,57	0,57
05.47	Sevilla-Carmona	0,71	0,71	0,71
05.50	Aljarafe	0,22	0,18	0,18
05.51	Almonte-Marismas	0,55	0,47	0,46
05.52	Lebrija	0,67	0,67	0,68
05.56	Jerez de la Frontera	0,87	0,87	0,87
05.57	Rota-Sanlúcar-Chipiona	1	1	1
05.58	Puerto de Santa María	0,49	0,49	0,49
05.59	Puerto Real-Conil de la Frontera	0,31	0,31	0,37

La comparación entre los valores obtenidos de los índices de llenado N₂₀, N₁₅ y N₁₀ para cada unidad hidrogeológica, se refleja en la tabla nº 10.

Tabla nº 10. Comparación entre los valores de índices de llenado N₂₀, N₁₅ y N₁₀.

Nº U.H.	NOMBRE	COMPARACIÓN DE VALORES DEL ÍNDICE DE LLENADO					
		N ₂₀ ≠ N ₁₀	N ₂₀ ≈ N ₁₀ Tolerancia ± 10 %	N ₂₀ ≠ N ₁₅	N ₂₀ ≈ N ₁₅ Tolerancia ± 10 %	N ₁₅ ≠ N ₁₀	N ₁₅ ≈ N ₁₀ Tolerancia ± 10 %
05.04	Huéscar-Puebla de D. Fabrique	X			X		X
05.05	Sierra de la Zarza		X		X		X
05.06	Orce-María		X		X		X
05.12	Depresión Guadix-Marquesado		X		X		X
05.43	Sierra de Estepa		X		X		X
05.46	Aluvial del Guadalquivir		X		X		X
05.47	Sevilla-Carmona		X		X		X
05.50	Aljarafe		X		X		X
05.51	Almonte-Marismas		X		X		X
05.52	Lebrija		X		X		X
05.56	Jerez de la Frontera		X		X		X
05.57	Rota-Sanlúcar-Chipiona		X		X		X
05.58	Puerto de Santa María		X		X		X
05.59	Puerto Real-Conil de la Frontera		X		X		X
TOTAL		1	13	0	14	0	14
FRECUENCIA RELATIVA		0,07	0,93	0	1	0	1

Al comparar los valores de los índices N_{20} y N_{10} , se observa que en 1 unidad hidrogeológica se obtienen valores distintos de N_{20} y N_{10} , mientras que N_{20} es igual a N_{10} en 13 unidades. La frecuencia relativa es por tanto de 0,07 para $N_{20} \neq N_{10}$ y de 0,93 para $N_{20} \approx N_{10}$.

Los resultados obtenidos al comparar los valores de los índices de llenado N_{20} y N_{15} , indican que ambos son iguales en las 14 unidades hidrogeológicas de la Cuenca del Guadalquivir donde existen datos suficientes para realizar dicha comparación, es decir que la frecuencia relativa es 1 para $N_{20} \approx N_{15}$ mientras que la frecuencia relativa es 0 para $N_{20} \neq N_{15}$.

La comparación entre los valores de los índices N_{15} y N_{10} , refleja un caso análogo al de comparación de los índices N_{15} y N_{10} , es decir que en las 14 unidades hidrogeológicas se obtienen valores similares de N_{15} y N_{10} y por tanto la frecuencia relativa es de 1.

5.5.- Cuenca del Sur Occidental

La Cuenca Sur Occidental se compone de 35 unidades hidrogeológicas, de las cuales el IGME realiza el control del nivel piezométrico en 26. El valor del índice de llenado para los periodos de tiempo de referencia de los últimos veinte, quince y diez años, se ha obtenido en 7 unidades en las que existen datos suficientes para realizar la comparación entre los índices N_{20} , N_{15} y N_{10} .

El valor correspondiente a los índices de llenado para cada una de las 7 unidades hidrogeológicas de la Cuenca del Sur Occidental, en las que se ha realizado el cálculo estadístico se refleja en la tabla nº 11, además se indica el número y el nombre de la unidad.

Tabla nº 11. Valores de los índices de llenado. Cuenca del Sur Occidental.

Nº U.H.	NOMBRE	VALORES DEL ÍNDICE DE LLENADO		
		N ₁₀	N ₁₅	N ₂₀
06.22	Río Verde	0,64	0,69	0,75
06.27	Vélez	0,70	0,70	0,70
06.33	Llanos de Antequera-Archidona	0,63	0,58	0,40
06.36	Valle de Abdalajís	0,17	0,41	0,41
06.37	Bajo Guadalhorce	0,80	0,80	0,80
06.38	Sierra Blanca-Sierra de Mijas	0,31	0,25	0,25
06.50	La Línea	0,06	0,05	0,05

La comparación entre los valores obtenidos de los índices de llenado N₂₀, N₁₅ y N₁₀ para cada unidad hidrogeológica, se indica en la tabla nº 12.

Tabla nº 12. Comparación entre los valores de índices de llenado N₂₀, N₁₅ y N₁₀.

Nº U.H.	NOMBRE	COMPARACIÓN DE VALORES DEL ÍNDICE DE LLENADO					
		N ₂₀ ≠ N ₁₀	N ₂₀ ≈ N ₁₀ Tolerancia ± 10 %	N ₂₀ ≠ N ₁₅	N ₂₀ ≈ N ₁₅ Tolerancia ± 10 %	N ₁₅ ≠ N ₁₀	N ₂₀ ≈ N ₁₅ Tolerancia ± 10 %
06.22	Río Verde		X		X		X
06.27	Vélez		X		X		X
06.33	Llanos de Antequera-Archidona	X		X			X
06.36	Valle de Abdalajís	X			X	X	
06.37	Bajo Guadalhorce		X		X		X
06.38	Sierra Blanca-Sierra de Mijas		X		X		X
06.50	La Línea		X		X		X
TOTAL		2	5	1	6	1	6
FRECUENCIA RELATIVA		0,29	0,71	0,14	0,86	0,14	0,86

Al comparar los resultados obtenidos entre los valores de los índices de llenado N₂₀, y N₁₀, se observa que se obtiene valores distintos en 2 unidades mientras que las 5 unidades restantes tienen valores similares. La frecuencia relativa es de 0,29 para N₂₀ ≠ N₁₀ y de 0,71 para N₂₀ ≈ N₁₀.

La comparación de valores entre los índices de llenado N_{20} y N_{15} , indica que ambos son distintos en 1 unidad hidrogeológica, mientras que son iguales en 6 unidades, es decir la frecuencia relativa es de 0,14 para $N_{20} \neq N_{15}$ y de 0,86 para $N_{20} \approx N_{15}$.

Un caso similar al anterior se presenta al comparar los índices N_{15} y N_{10} . La frecuencia relativa es de 0,14 para $N_{15} \neq N_{10}$ y de 0,86 para $N_{15} \approx N_{10}$.

5.6. Cuenca del Segura

Se ha realizado el cálculo de los índices de llenado N_{20} , N_{15} y N_{10} en 16 unidades hidrogeológicas de la Cuenca del Segura donde existen series de datos suficientes para realizar una comparación estadística de los valores obtenidos para los tres periodos de tiempo considerados.

El valor de los índices N_{20} , N_{15} y N_{10} correspondientes a cada unidad hidrogeológica así como el número y nombre de la misma se indican en la tabla nº 13.

Tabla nº 13. Valores de los índices de llenado. Cuenca del Segura.

Nº U.H.	NOMBRE	VALORES DEL ÍNDICE DE LLENADO		
		N_{10}	N_{15}	N_{20}
07.03	Escamas y Diapiros	0	0	0
07.05	Jumilla-Villena	0	0	0
07.07	Sierra de Cazorla-Segura	0	0	0,05
07.08	Sinclinal de Calasparra	0	0	0
07.09	Ascoy-Sopalmo	0	0	0
07.10	Carche-Salinas	0	0	0
07.11	Quibas	0	0	0
07.18	Gavilán	0,58	0,75	0,74
07.21	Bullas	0	0,60	0,60
07.23	Vega Alta del Segura	0,85	0,84	0,79
07.24	Vega Media y Baja del Segura	0,63	0,62	0,60
07.28	Valle del Guadalentín	0	0	0
07.29	Sierra de Carrascoy	0,12	0,05	0,02
07.31	Campo de Cartagena	0,31	0,33	0,53
07.32	Mazarrón	0,04	0,04	0,01
07.34	Cuchillos-Cabras	0,24	0,16	0,11

Se ha realizado una comparación estadística de los valores obtenidos para los periodos de tiempo de los últimos veinte, quince y diez años, tal y como se refleja en la tabla n° 14.

Tabla n° 14. Comparación entre los valores de índices de llenado N_{20} , N_{15} y N_{10} .

N° U.H.	NOMBRE	COMPARACIÓN DE VALORES DEL ÍNDICE DE LLENADO					
		$N_{20} \neq N_{10}$	$N_{20} \approx N_{10}$ Tolerancia $\pm 10\%$	$N_{20} \neq N_{15}$	$N_{20} \approx N_{15}$ Tolerancia $\pm 10\%$	$N_{15} \neq N_{10}$	$N_{20} \approx N_{15}$ Tolerancia $\pm 10\%$
07.03	Escamas y Diapiros		X		X		X
07.05	Jumilla-Villena		X		X		X
07.07	Sierra de Cazorla-Segura		X		X		X
07.08	Sinclinal de Calasparra		X		X		X
07.09	Ascoy-Sopalmo		X		X		X
07.10	Carche-Salinas		X		X		X
07.11	Quibas		X		X		X
07.18	Gavilán	X			X	X	
07.21	Bullas	X			X	X	
07.23	Vega Alta del Segura		X		X		X
07.24	Vega Media y Baja del Segura		X		X		X
07.28	Valle del Guadalentín		X		X		X
07.29	Sierra de Carrascoy		X		X		X
07.31	Campo de Cartagena	X		X			X
07.32	Mazarrón		X		X		X
07.34	Cuchillos-Cabras	X			X		X
TOTAL		4	12	1	15	2	14
FRECUENCIA RELATIVA		0,25	0,75	0,06	0,94	0,12	0,88

La comparación entre los valores de los índices N_{20} y N_{10} , indica que en 4 unidades hidrogeológicas existen valores distintos de N_{20} y N_{10} mientras que N_{20} es igual a N_{10} en 12 unidades. La frecuencia relativa es por tanto de 0,25 para $N_{20} \neq N_{10}$ y 0,75 para $N_{20} \approx N_{10}$.

Los resultados al compara estadísticamente los niveles de llenado N_{20} y N_{15} , reflejan que ambos son distintos en 1 unidad mientras que en 15 unidades los valores son similares, es decir que la frecuencia relativa es de 0,06 para $N_{20} \neq N_{15}$ y de 0,94 para $N_{20} \approx N_{15}$.

Al comparar los valores del índice de llenado N_{15} y N_{10} se obtiene que N_{15} es distinto a N_{10} en 2 unidades hidrogeológicas y N_{15} es igual a N_{10} en 14 unidades. La frecuencia relativa es de 0,12 para $N_{15} \neq N_{10}$ y de 0,88 para $N_{15} \approx N_{10}$.

5.7.- Cuenca del Júcar

La Cuenca del Júcar se compone de 52 unidades hidrogeológicas de las cuales se ha realizado el cálculo del valor del índice de llenado para los periodos de tiempo considerado en 29. El valor de los índices N_{20} , N_{15} y N_{10} correspondientes a cada unidad hidrogeológica así como el número y nombre de la misma se indican en la tabla nº 13.

Tabla nº 15. Valores de los índices de llenado. Cuenca del Júcar.

Nº U.H.	NOMBRE	VALORES DEL ÍNDICE DE LLENADO		
		N_{10}	N_{15}	N_{20}
08.07	Maestrazgo	0,19	0,15	0,33
08.09	Plana de Cenía	0,11	0,06	0,06
08.10	Plana de Vinaroz-Pefíscola	0,16	0,15	0,15
08.11	Plana de Oropesa-Torreblanca	0,26	0,17	0,24
08.12	Plana de Castellón	0,00	0,00	0,03
08.18	Las Serranías	0,47	0,47	0,47
08.19	Alcublas	1,00	1,00	1,00
08.20	Medio Palancia	0,84	0,86	0,86
08.21	Plana de Sagunto	0,09	0,08	0,08
08.22	Liria-Casinos	0,28	0,26	0,26
08.23	Buñol-Cheste	0,00	0,22	0,22
08.24	Utiel-Requena	0,09	0,09	0,09
08.25	Plana de Valencia Norte	0,15	0,15	0,15
08.26	Plana de Valencia Sur	0,00	0,00	0,00
08.27	Caroch Norte	0,18	0,18	0,18
08.28	Caroch Sur	0,00	0,11	0,12
08.29	Mancha Oriental	0,00	0,00	0,00
08.31	Sierra de las Agujas	0,00	0,00	0,21
08.32	Sierra Grossa	0,00	0,47	0,47
08.34	Sierra Oliva	0,71	0,81	0,89
08.36	Yecla-Villena-Benejama	0,00	0,01	0,01
08.37	Almirante-Mustalla	0,00	0,00	0,00
08.38	Plana de Gandía-Denia	0,06	0,06	0,06
08.39	Almudaina-Alfaro-Segaria	0,00	0,00	0,05
08.40	Sierra Mariola	0,00	0,00	0,00
08.44	Barrancones-Carrasqueta	0,00	0,00	0,00
08.45	Sierra Aitana	0,16	0,16	0,15
08.47	Peñón-Montgó-Bernia	0,00	0,00	0,00
08.51	Quibas	0,00	0,69	0,69

Se ha efectuado comparación estadística de los valores obtenidos para los periodos de tiempo de referencia de los últimos veinte, quince y diez años, tal y como se refleja en la tabla nº 16.

Tabla nº 16. Comparación entre los valores de índices de llenado N_{20} , N_{15} y N_{10} .

Nº U.H.	NOMBRE	COMPARACIÓN DE VALORES DEL ÍNDICE DE LLENADO					
		$N_{20} \neq N_{10}$	$N_{20} \approx N_{10}$ Tolerancia $\pm 10\%$	$N_{20} \neq N_{15}$	$N_{20} \approx N_{15}$ Tolerancia $\pm 10\%$	$N_{15} \neq N_{10}$	$N_{20} \approx N_{15}$ Tolerancia $\pm 10\%$
08.07	Maestrazgo	X		X			X
08.09	Plana de Cenia		X		X		X
08.10	Plana de Vinaroz-Peñíscola		X		X		X
08.11	Plana de Oropesa-Torreblanca		X	X		X	
08.12	Plana de Castellón		X		X		X
08.18	Las Serranías		X		X		X
08.19	Alcublas		X		X		X
08.20	Medio Palancia		X		X		X
08.21	Plana de Sagunto		X		X		X
08.22	Liria-Casinos		X		X		X
08.23	Buñol-Cheste	X			X	X	
08.24	Utiel-Requena		X		X		X
08.25	Plana de Valencia Norte		X		X		X
08.26	Plana de Valencia Sur		X		X		X
08.27	Caroch Norte		X		X		X
08.28	Caroch Sur	X			X	X	
08.29	Mancha Oriental		X		X		X
08.31	Sierra de las Agujas	X		X			X
08.32	Sierra Grosa	X			X	X	
08.34	Sierra Oliva	X		X		X	
08.36	Yecla-Villena-Benejama		X		X		X
08.37	Almirante-Mustalla		X		X		X
08.38	Plana de Gandia-Denia		X		X		X
08.39	Almudaina-Alfaro-Segaria		X		X		X
08.40	Sierra Mariola		X		X		X
08.44	Barrancones-Carrasqueta		X		X		X
08.45	Sierra Aitana		X		X		X
08.47	Peñón-Montgó-Bernia		X		X		X
08.51	Quibas	X			X	X	
TOTAL		7	22	4	25	6	23
FRECUENCIA RELATIVA		0,24	0,76	0,14	0,86	0,21	0,79

Al comparar los valores de los índices N_{20} y N_{10} , se observa que en 7 unidades hidrogeológicas se obtienen valores distintos de N_{20} y N_{10} , mientras que N_{20} es igual a N_{10} en 22 unidades. La frecuencia relativa es por tanto de 0,24 para $N_{20} \neq N_{10}$ y de 0,76 para $N_{20} \approx N_{10}$.

Los resultados obtenidos al comparar los valores de los índices de llenado N_{20} y N_{15} , indican que ambos son distintos en 4 unidades hidrogeológicas de la Cuenca del Júcar donde existen datos suficientes para realizar dicha comparación, mientras que ambos son iguales en 25 unidades. La frecuencia relativa es 0,14 para $N_{20} \neq N_{15}$ y 0,86 para $N_{20} \approx N_{15}$.

La comparación entre los valores de los índices N_{15} y N_{10} , refleja que el índice N_{15} es distinto a N_{10} en 6 unidades hidrogeológicas mientras que ambos son iguales en 23 unidades, es decir que la frecuencia relativa es de 0,21 para $N_{15} \neq N_{10}$ y 0,79 para $N_{15} \approx N_{10}$.

5.8.- Cuenca del Ebro

Se ha realizado el cálculo de los índices de llenado N_{20} , N_{15} y N_{10} en 7 unidades hidrogeológicas de la Cuenca del Ebro donde existen series de datos suficientes para efectuar la comparación estadística de los valores obtenidos para los tres periodos de tiempo considerados.

El valor de los índices N_{20} , N_{15} y N_{10} correspondientes a cada unidad hidrogeológica se refleja en la tabla nº 17. Además en ella se indica el número y nombre de la unidad.

Tabla nº 17. Valores de los índices de llenado. Cuenca del Ebro.

Nº U.H.	NOMBRE	VALORES DEL ÍNDICE DE LLENADO		
		N ₁₀	N ₁₅	N ₂₀
09.28	Aluvial del Gállego	0,43	0,43	0,36
09.31	Curso bajo y Delta del Ebro	0	0	0
09.37	Jalón-Huerva	0	0,70	0,82
09.42	Puertos de Beceite	0,21	0,83	0,90
09.44	Gallocanta	0	0,03	0,05
09.46	Alto Jiloca	0,35	0,44	0,39
09.51	Cardó-Perrelló	0	0	0

La comparación entre los valores obtenidos de los índices de llenado N₂₀, N₁₅ y N₁₀ para cada unidad hidrogeológica, se indica en la tabla nº 18.

Tabla nº 18. Comparación entre los valores de índices de llenado N₂₀, N₁₅ y N₁₀.

Nº U.H.	NOMBRE	COMPARACIÓN DE VALORES DEL ÍNDICE DE LLENADO					
		N ₂₀ ≠ N ₁₀	N ₂₀ ≈ N ₁₀ Tolerancia ± 10 %	N ₂₀ ≠ N ₁₅	N ₂₀ ≈ N ₁₅ Tolerancia ± 10 %	N ₁₅ ≠ N ₁₀	N ₂₀ ≈ N ₁₅ Tolerancia ± 10 %
09.28	Aluvial del Gállego		X		X		X
09.31	Curso bajo y Delta del Ebro		X		X		X
09.37	Jalón-Huerva	X			X	X	
09.42	Puertos de Beceite	X			X	X	
09.44	Gallocanta		X		X		X
09.46	Alto Jiloca		X		X		X
09.51	Cardó-Perrelló		X		X		X
TOTAL		2	5	0	7	2	5
FRECUENCIA RELATIVA		0,29	0,71	0	1	0,29	0,71

Al comparar los valores de los índices N₂₀ y N₁₀, se observa que en 2 unidades hidrogeológicas se obtienen valores distintos de N₂₀ y N₁₀, mientras que N₂₀ es igual a N₁₀ en 5 unidades. La frecuencia relativa es por tanto de 0,29 para N₂₀ ≠ N₁₀ y de 0,71 para N₂₀ ≈ N₁₀.

Los resultados obtenidos al comparar los valores de los índices de llenado N_{20} y N_{15} , indican que ambos son iguales en las 7 unidades hidrogeológicas de la Cuenca del Ebro donde existen series de datos continuas y suficientes para efectuar el cálculo estadístico de los distintos índices, es decir que la frecuencia relativa es 1 para el caso en que $N_{20} \approx N_{15}$.

La comparación entre los valores de los índices N_{15} y N_{10} , refleja un caso análogo al de comparación de los índices N_{20} y N_{10} , es decir que en 2 unidades hidrogeológicas se obtienen valores distintos de N_{15} y N_{10} , mientras que ambos son iguales en 5 unidades hidrogeológicas y por tanto la frecuencia relativa es de 0,29 para $N_{15} \neq N_{10}$ y de 0,67 para $N_{15} \approx N_{10}$.

5.9.-Cuenca de Baleares

En la Cuenca de Baleares se ha efectuado el cálculo de los valores de los tres índices de llenado en 6 unidades hidrogeológicas de la Isla de Mallorca, ya que en el resto de la cuenca no existen series de datos continuas o suficientes para realizar dicho cálculo.

Los valores obtenidos en el cálculo de los índices N_{20} , N_{15} y N_{10} para los periodos de tiempo de referencia de los últimos veinte, quince y diez años, se reflejan en la tabla nº 19 junto con el nombre y número de la unidad hidrogeológica la que corresponden.

Tabla nº 19. Valores de los índices de llenado. Isla de Mallorca.

Nº U.H.	NOMBRE	VALORES DEL ÍNDICE DE LLENADO		
		N_{10}	N_{15}	N_{20}
18.05	Almadrava	0,05	0,05	0,03
18.08	S'Extremera	0	0	0
18.11	Llano de Inca-Sa Pobla	0	0	0
18.14	Llano de Palma	0	0	0
18.15	Sierras Centrales	0	0	0
18.21	Lluchmajor-Campos	0,12	0,51	0,41

La comparación entre los valores obtenidos de los índices de llenado N_{20} , N_{15} y N_{10} para cada unidad hidrogeológica, se indica en la tabla nº 20.

Tabla nº 20. Comparación entre los valores de índices de llenado N_{20} , N_{15} y N_{10} .

Nº U.H.	NOMBRE	COMPARACIÓN DE VALORES DEL ÍNDICE DE LLENADO					
		$N_{20} \neq N_{10}$	$N_{20} \approx N_{10}$ Tolerancia $\pm 10\%$	$N_{20} \neq N_{15}$	$N_{20} \approx N_{15}$ Tolerancia $\pm 10\%$	$N_{15} \neq N_{10}$	$N_{20} \approx N_{15}$ Tolerancia $\pm 10\%$
18.05	Almadrava		X		X		X
18.08	S'Extremera		X		X		X
18.11	Llano de Inca-Sa Pobra		X		X		X
18.14	Llano de Palma		X		X		X
18.15	Sierras Centrales		X		X		X
18.21	Lluchmajor-Campos	X			X	X	
TOTAL		1	5	0	6	1	5
FRECUENCIA RELATIVA		0,17	0,83	0	1	0,17	0,83

Al comparar los valores de los índices N_{20} y N_{10} , se observa que 1 unidad hidrogeológica tiene valores distintos de N_{20} y N_{10} , mientras que N_{20} es igual a N_{10} en 5 unidades. La frecuencia relativa por tanto es de 0,17 para $N_{20} \neq N_{10}$ y de 0,83 para $N_{20} \approx N_{10}$.

Los resultados obtenidos al comparar los valores de los índices de llenado N_{20} y N_{15} , indican que ambos son iguales en las 6 unidades hidrogeológicas de la Isla de Mallorca donde existen datos suficientes para a su cálculo, es decir que la frecuencia relativa es de 1 para $N_{20} \approx N_{15}$, mientras que la frecuencia relativa para el caso de que $N_{20} \neq N_{15}$ es 0.

La comparación entre los valores de los índices N_{15} y N_{10} , refleja un caso idéntico al de comparación de los índices N_{20} y N_{10} , es decir que en 1 unidad hidrogeológica se cumple que N_{15} es distinto de N_{10} , mientras que N_{15} es igual a N_{10} en 5 unidades. Por lo cual la frecuencia relativa es de 0,17 para $N_{15} \neq N_{10}$ y de 0,83 para $N_{15} \approx N_{10}$.

6.- COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS VALORES A NIVEL NACIONAL Y CONCLUSIONES

Se ha realizado el cálculo con los piezómetros de las 102 unidades hidrogeológicas reseñadas anteriormente, ya que permiten efectuarlo con las series de datos de diez, quince y veinte años. La finalidad consiste en poder comparar entre sí los valores de los índices de llenado obtenidos con los datos de diferentes series históricas.

Al comparar los valores de los índices N_{20} y N_{10} (tabla nº 21), se observa para el total de las cuencas, que con una frecuencia relativa de 0,71 se obtienen valores de $N_{20} \approx N_{10}$, mientras que la frecuencia es de 0,29 para $N_{20} \neq N_{10}$. Al realizar el estudio las cuencas individualmente, se aprecia una gran disparidad de las frecuencias relativas estando comprendidas entre 0,42 para la Cuenca del Duero y 0,93 para la Cuenca del Guadalquivir.

CUENCA \ U.H.	CON SERIE HISTÓRICA	VALORES DE LLENADO			FRECUENCIA RELATIVA	
		$N_{20} > N_{10}$	$N_{20} < N_{10}$	$N_{20} \approx N_{10}$ <small>Tolerancia $\pm 10\%$</small>	$N_{20} \neq N_{10}$	$N_{20} \approx N_{10}$
DUERO	12	1	6	5	0,58	0,42
TAJO	3	0	1	2	0,33	0,67
GUADIANA	8	0	4	4	0,50	0,50
GUADALQUIVIR	14	0	1	13	0,07	0,93
SUR OCCIDENTAL	7	1	1	5	0,28	0,72
SEGURA	16	3	1	12	0,25	0,75
JÚCAR	29	7	0	22	0,24	0,76
EBRO	7	2	0	5	0,29	0,71
MALLORCA	6	1	0	5	0,17	0,83
TOTAL	102	15	14	73	0,29	0,71

Tabla nº 21. Comparación entre valores de índices de llenado N_{20} y N_{10}

Los resultados obtenidos al comparar los valores de los índices de llenado N_{20} y N_{15} (tabla nº 22), indican que la igualdad de valores $N_{20} \approx N_{15}$ se produce con una frecuencia relativa del 0,95, mientras que el valor $N_{20} \neq N_{15}$ sucede con una frecuencia del 0,05.

CUENCA \ U.H.	CON SERIE HISTÓRICA	VALORES DE LLENADO			FRECUENCIA RELATIVA	
		$N_{20} > N_{15}$	$N_{20} < N_{15}$	$N_{20} \approx N_{15}$ Tolerancia $\pm 10\%$	$N_{20} \neq N_{15}$	$N_{20} \approx N_{15}$
DUERO	12	0	0	12	0	1
TAJO	3	0	0	3	0	1
GUADIANA	8	0	1	7	0,12	0,88
GUADALQUIVIR	14	0	0	14	0	1
SUR OCCIDENTAL	7	0	1	6	0,14	0,86
SEGURA	16	1	0	15	0,06	0,94
JÚCAR	29	2	0	27	0,07	0,93
EBRO	7	0	0	7	0	1
MALLORCA	6	0	0	6	0	1
TOTAL	102	3	2	97	0,05	0,95

Tabla nº 22. Comparación entre valores de índices de llenado N_{20} y N_{15}

Al comparar los resultados del cálculo de los índices de llenado N_{15} y N_{10} (tabla nº 23), se observa que para valores de $N_{15} \approx N_{10}$ la frecuencia relativa es de 0,80 y los valores de $N_{15} \neq N_{10}$ se producen con una frecuencia de 0,20. El análisis cuenca por cuenca, indica la existencia de una gran diversidad de las frecuencias relativas obtenidas.

CUENCA \ U.H.	CON SERIE HISTÓRICA	VALORES DE LLENADO			FRECUENCIA RELATIVA	
		$N_{15} > N_{10}$	$N_{15} < N_{10}$	$N_{15} \approx N_{10}$ Tolerancia $\pm 10\%$	$N_{15} \neq N_{10}$	$N_{15} \approx N_{10}$
DUERO	12	1	5	6	0,50	0,50
TAJO	3	0	1	2	0,33	0,67
GUADIANA	8	0	3	5	0,37	0,63
GUADALQUIVIR	14	0	0	14	0	1
SUR OCCIDENTAL	7	1	0	6	0,14	0,86
SEGURA	16	2	0	14	0,12	0,88
JÚCAR	29	4	0	25	0,14	0,86
EBRO	7	2	0	5	0,29	0,71
MALLORCA	6	1	0	5	0,17	0,83
TOTAL	102	11	9	82	0,20	0,80

Tabla nº 23. Comparación entre valores de índices de llenado N_{15} y N_{10}

La forma más adecuada para calcular el índice de llenado en el entorno de un piezómetro, se efectúa considerando toda la serie histórica que exista, pero si no coinciden de los años en que se considera la serie, es imposible la comparación entre ellos. La selección de periodos de tiempo comunes para diversos piezómetros, obligan a desechar algunos datos históricos que aportan en ocasiones información interesante. Por otro lado, la realización del cálculo de llenado de los acuíferos con datos de distintos periodos refleja valores diferentes.

La serie de datos de los últimos 20 años es la más larga de las existentes que permite efectuar estos cálculos comparativos. Utilizar la serie de 15 años permite aumentar el número de acuíferos en los que se puede aplicar este índice. También ha quedado reflejado que realizar los cálculos con las series históricas de 15 y 20 años dan valores similares.

Por tanto, se considera como más adecuado para el cálculo de los índices de llenado la utilización de los datos de los últimos 15 años, ya que es el periodo histórico que reúne ambas ventajas.

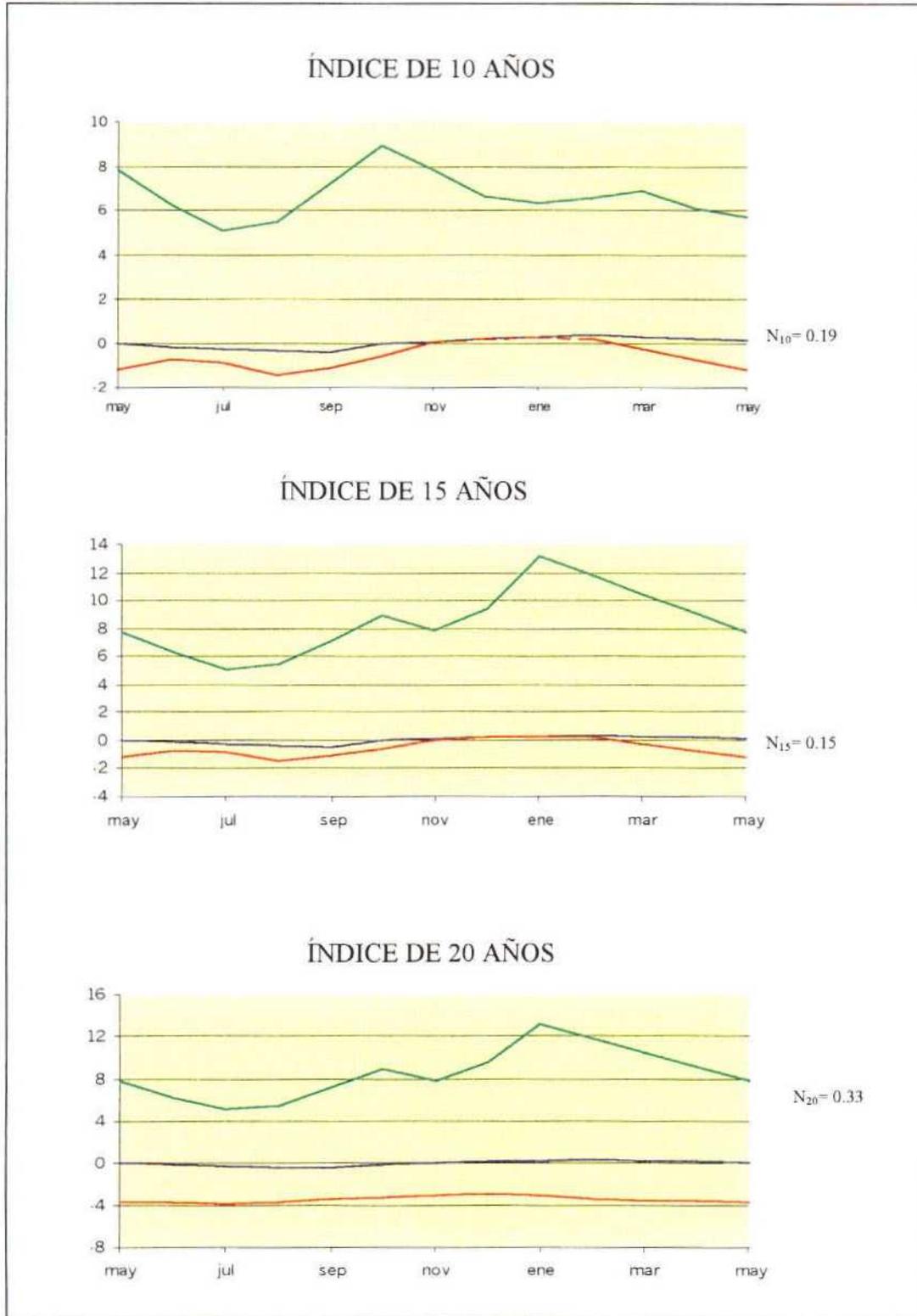
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ITGE; (1998). Redes de Control de las Aguas Subterráneas. Informes semestrales.
- MIMAM; (1999 y 2000). Informe de Coyuntura del Ministerio de Medio Ambiente. Publicación mensual. I.S.S.N.: 1139-7950
- PERNÍA J.M.; CORRAL M.M.; (2000). Llenado de los acuíferos. Propuesta de un indicador. V Congreso Geológico de España. Alicante. Geotemas volumen 2: 111-114.

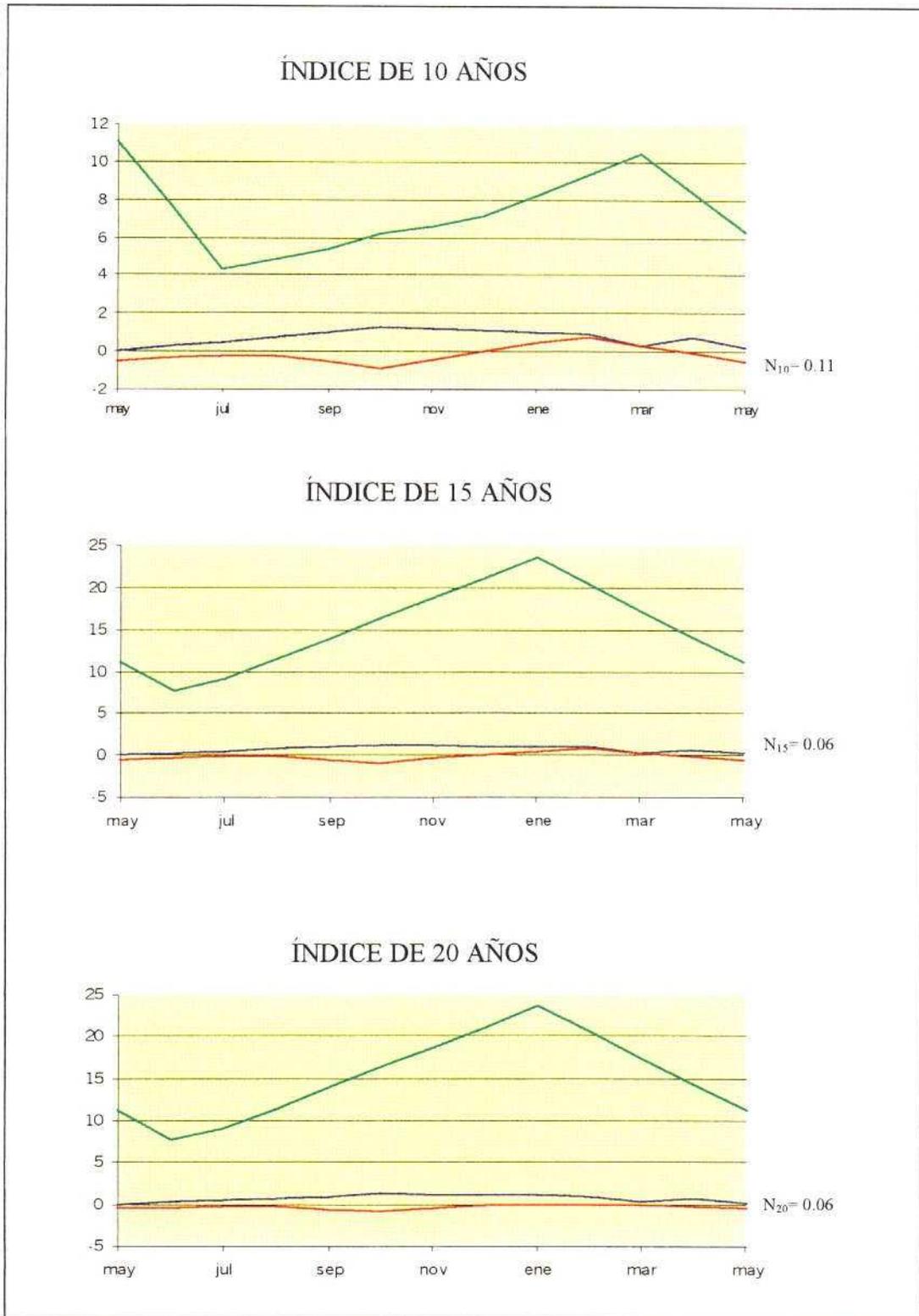
ANEXO

GRÁFICOS DE EVOLUCIÓN ANUAL. CUENCA DEL JÚCAR

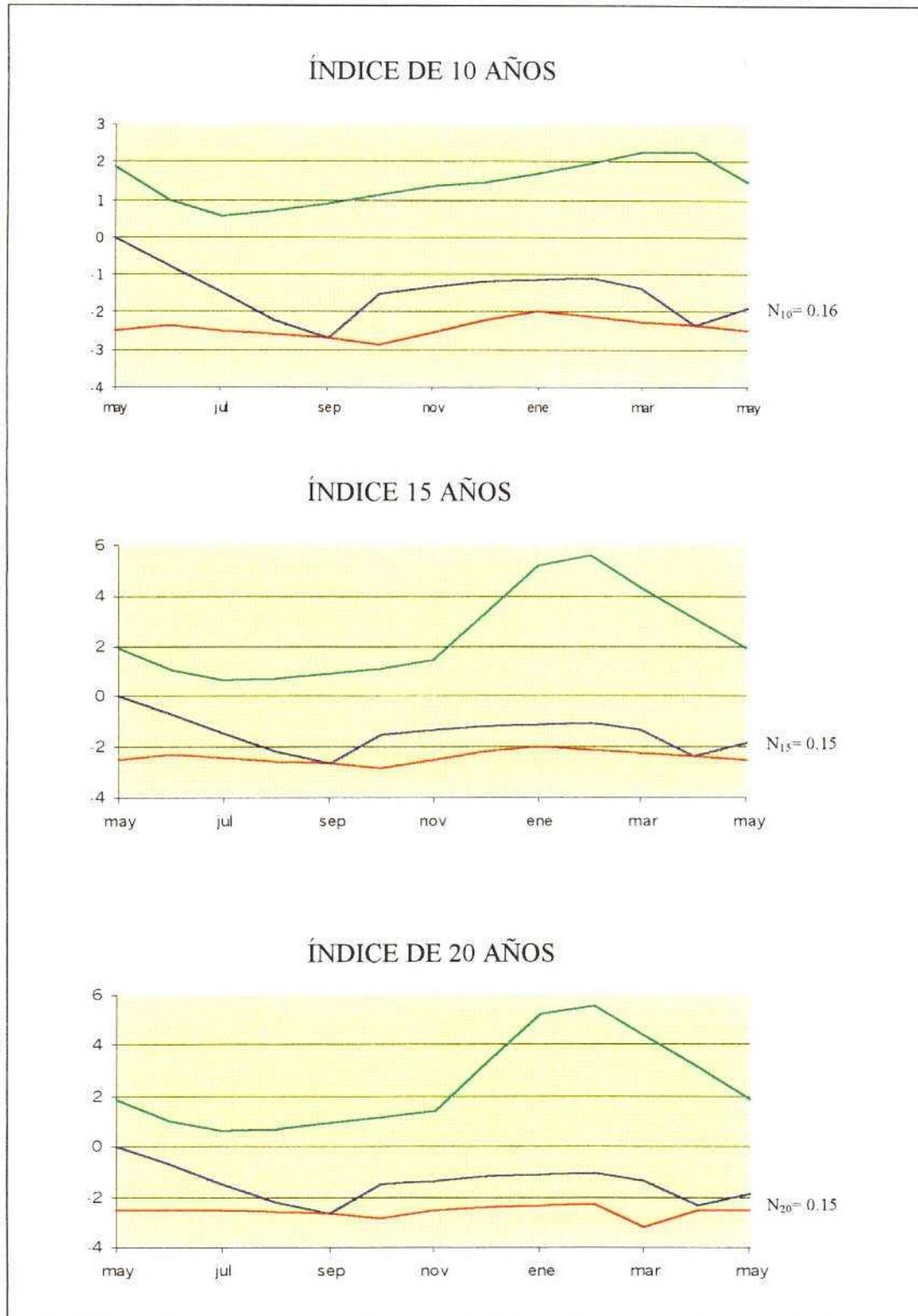
CUENCA DEL JÚCAR
U.H. 08.07 Maestrazgo



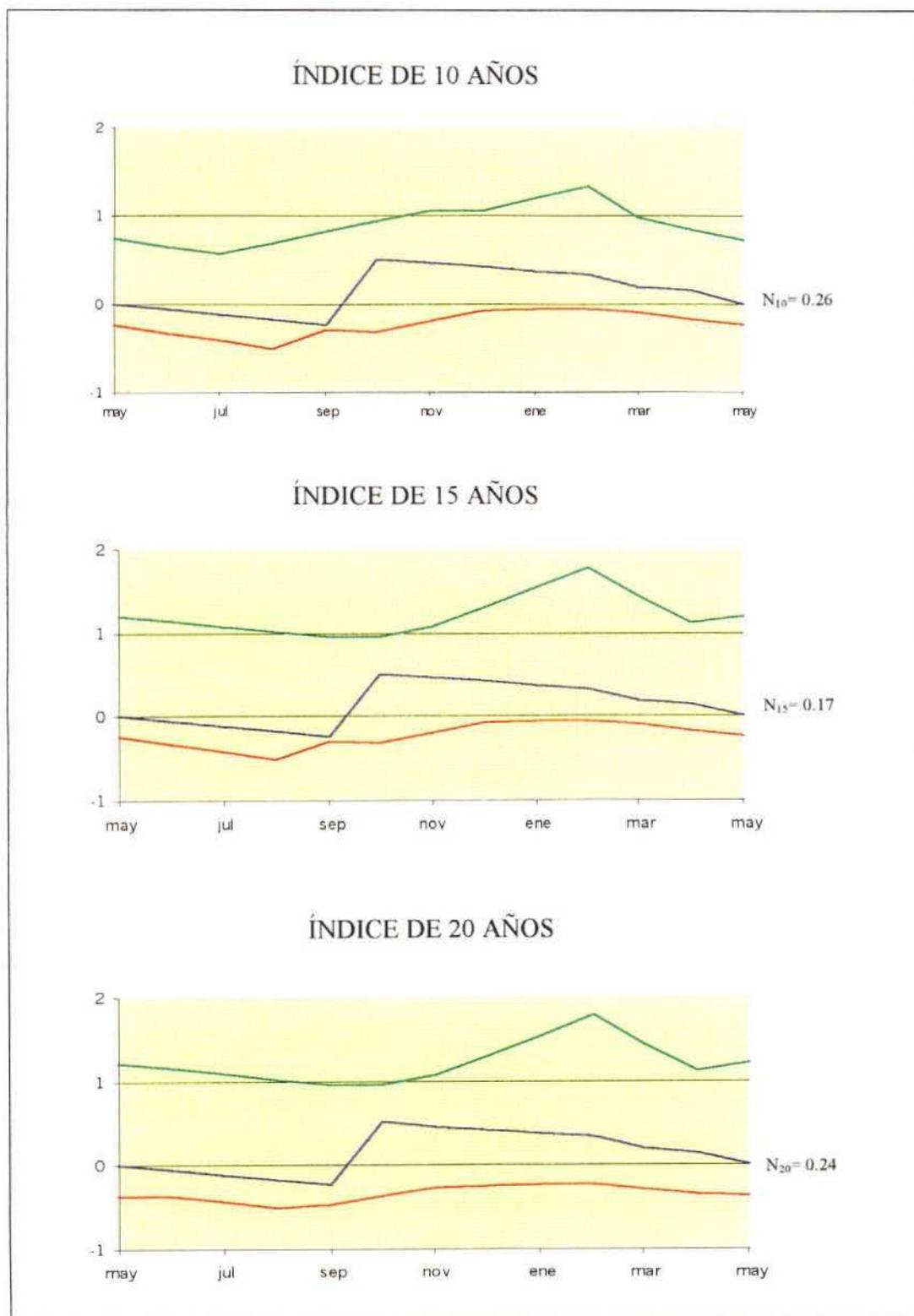
CUENCA DEL JÚCAR U.H. 08.09 Plana de Cenia



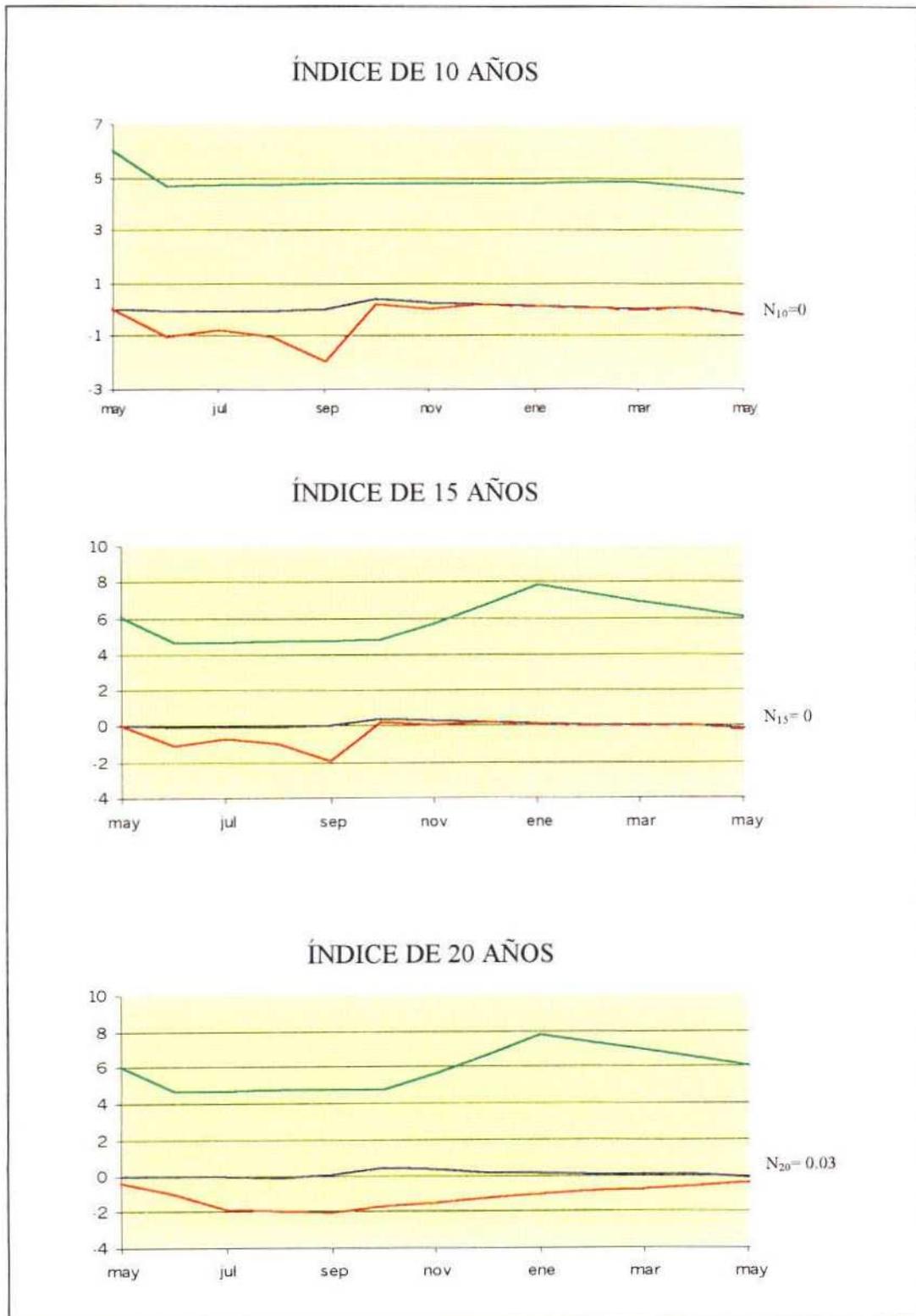
CUENCA DEL JÚCAR U.H. 08.10 Plana de Vinaroz-Peñiscola



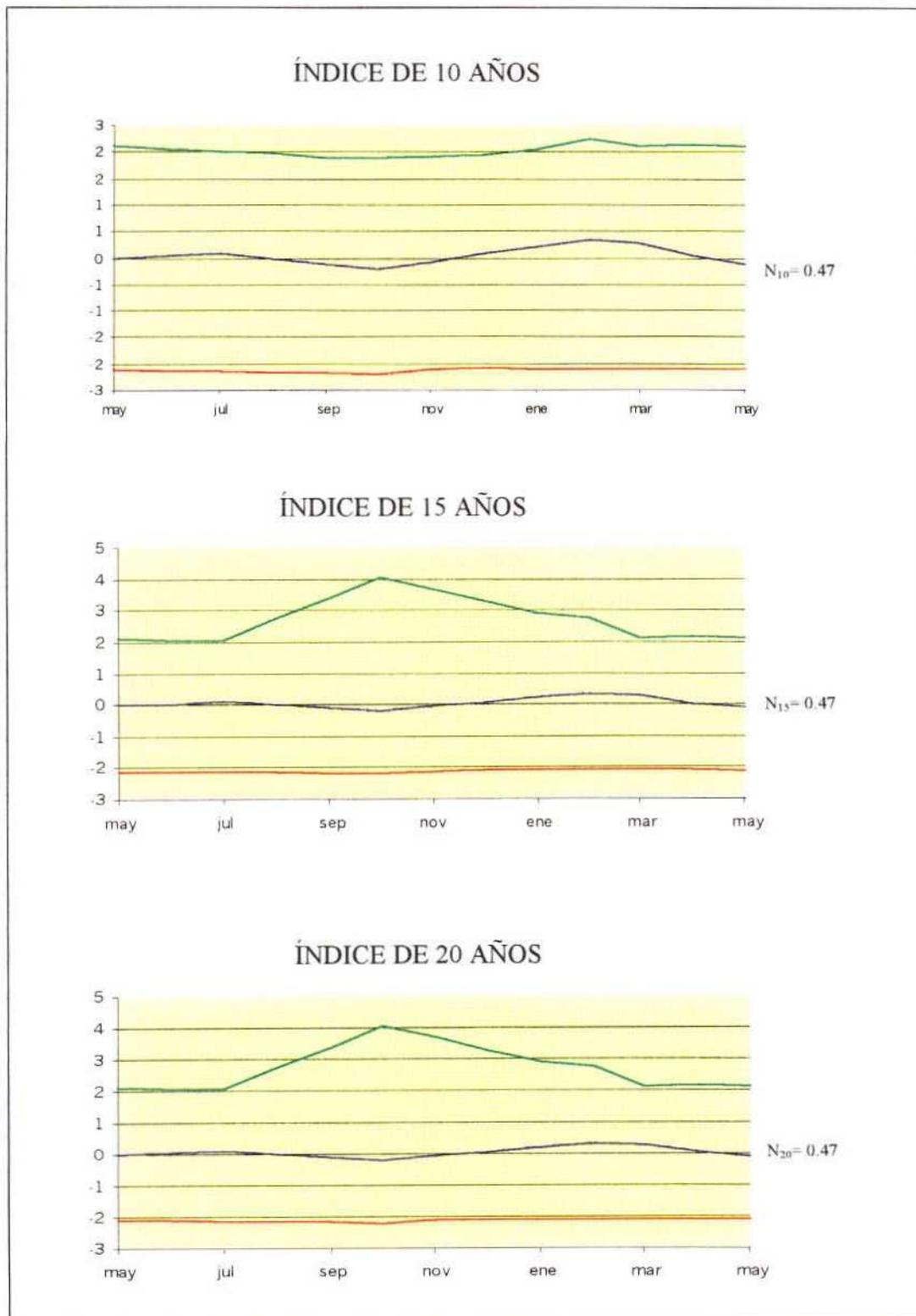
CUENCA DEL JÚCAR U.H. 08.11 Plana de Oropesa- Torreblanca



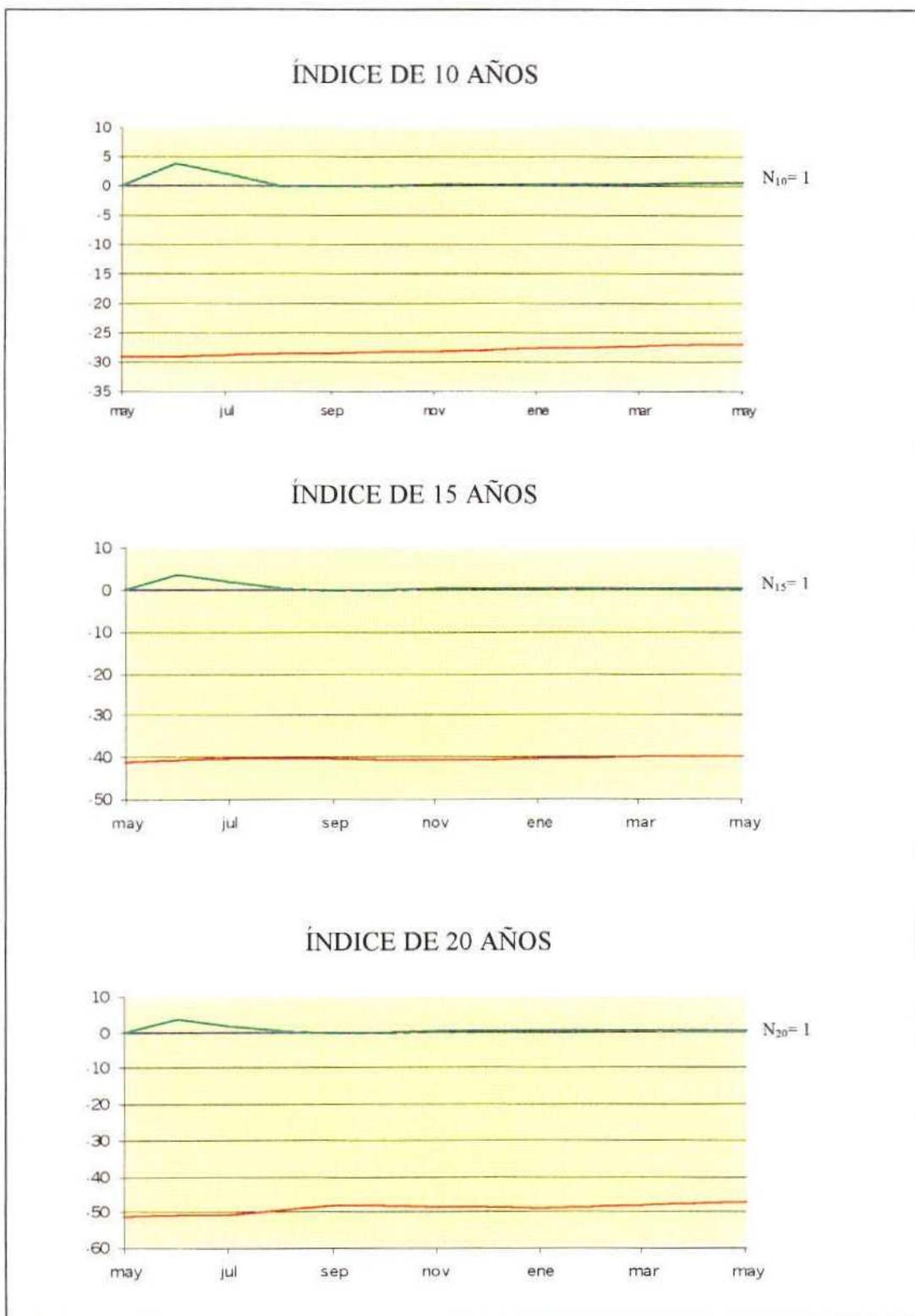
CUENCA DEL JÚCAR U.H. 08.12 Plana de Castellón



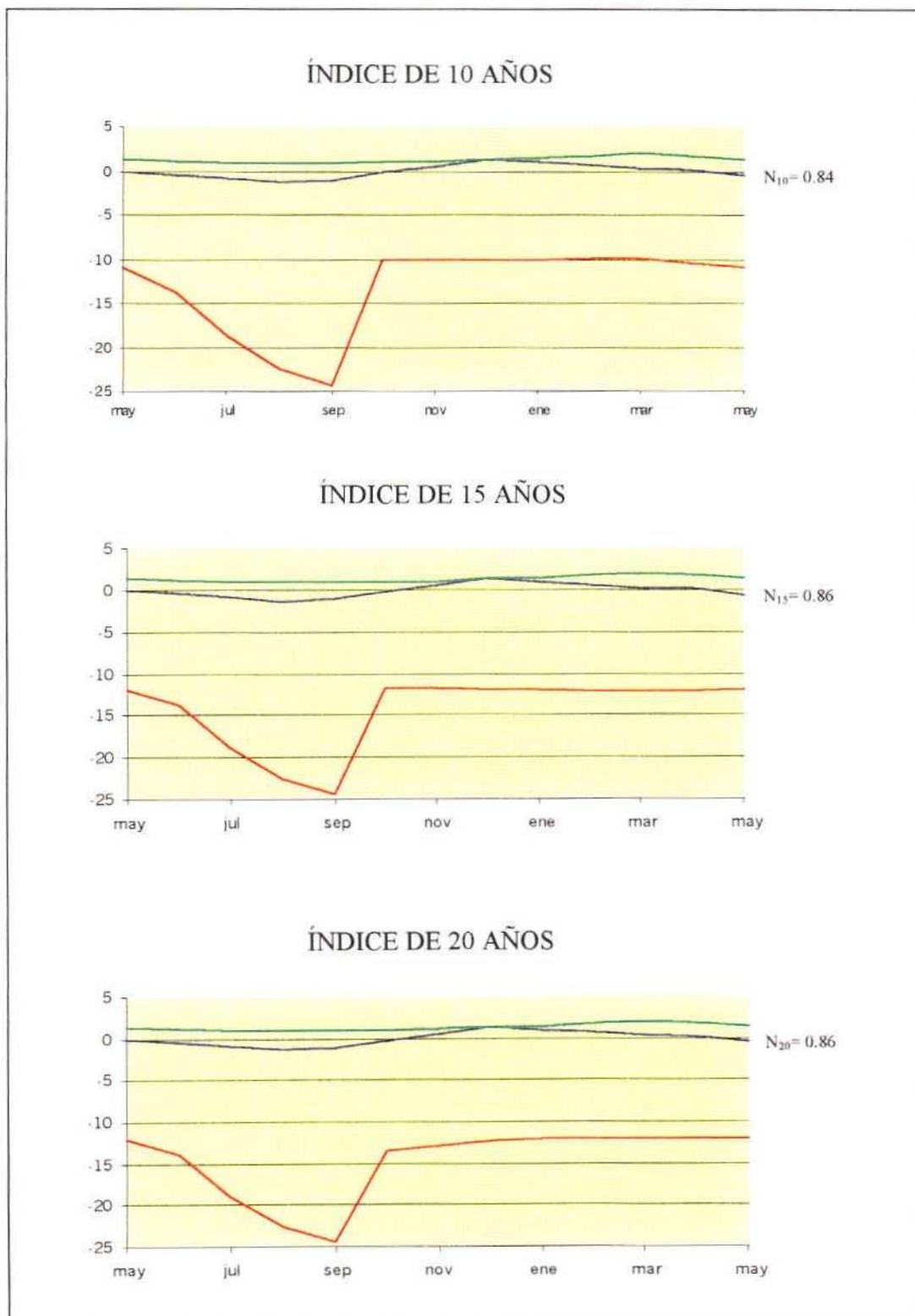
CUENCA DEL JÚCAR U.H. 08.18 Las Serranías



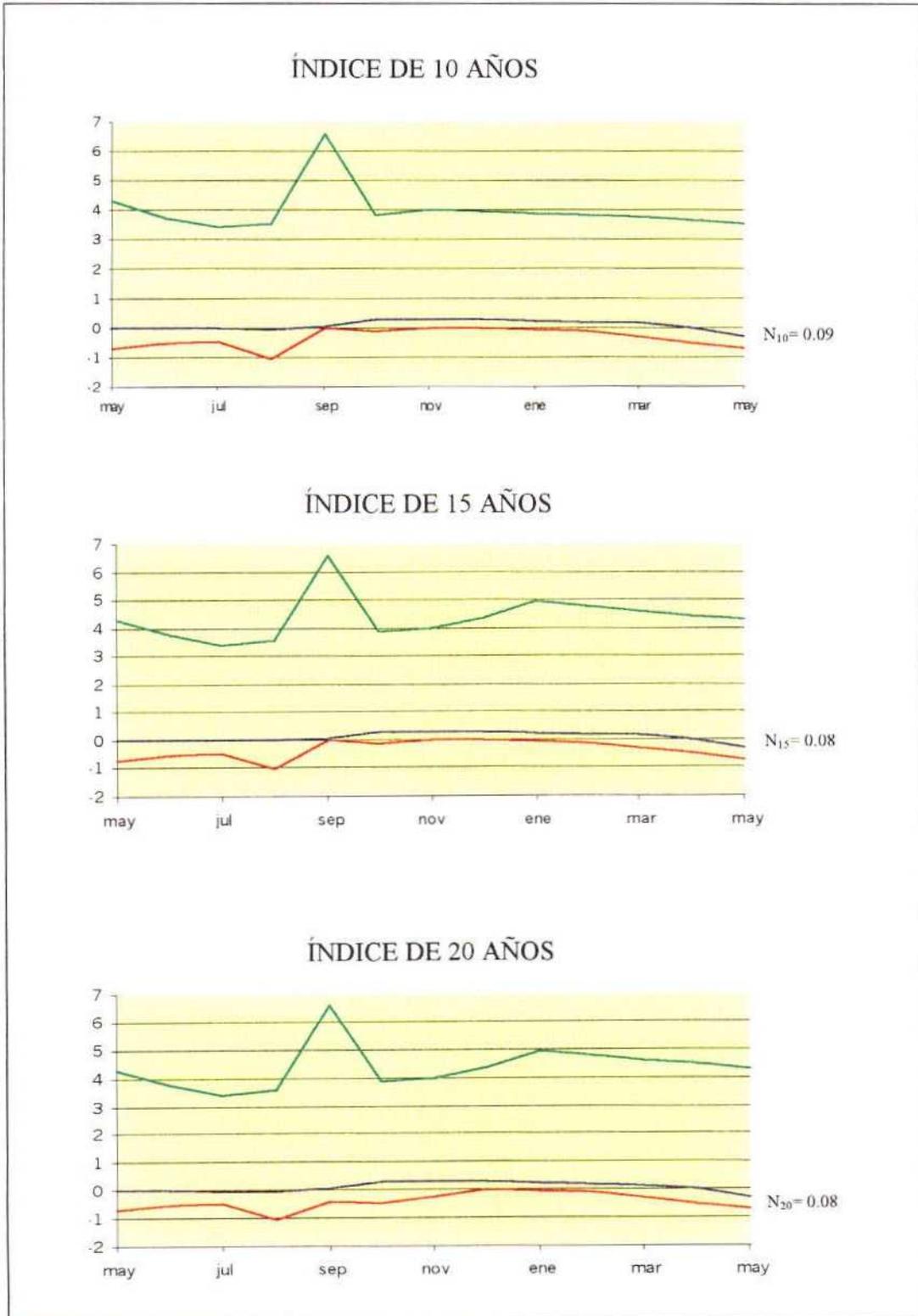
CUENCA DEL JÚCAR U.H. 08.19 Alcublas



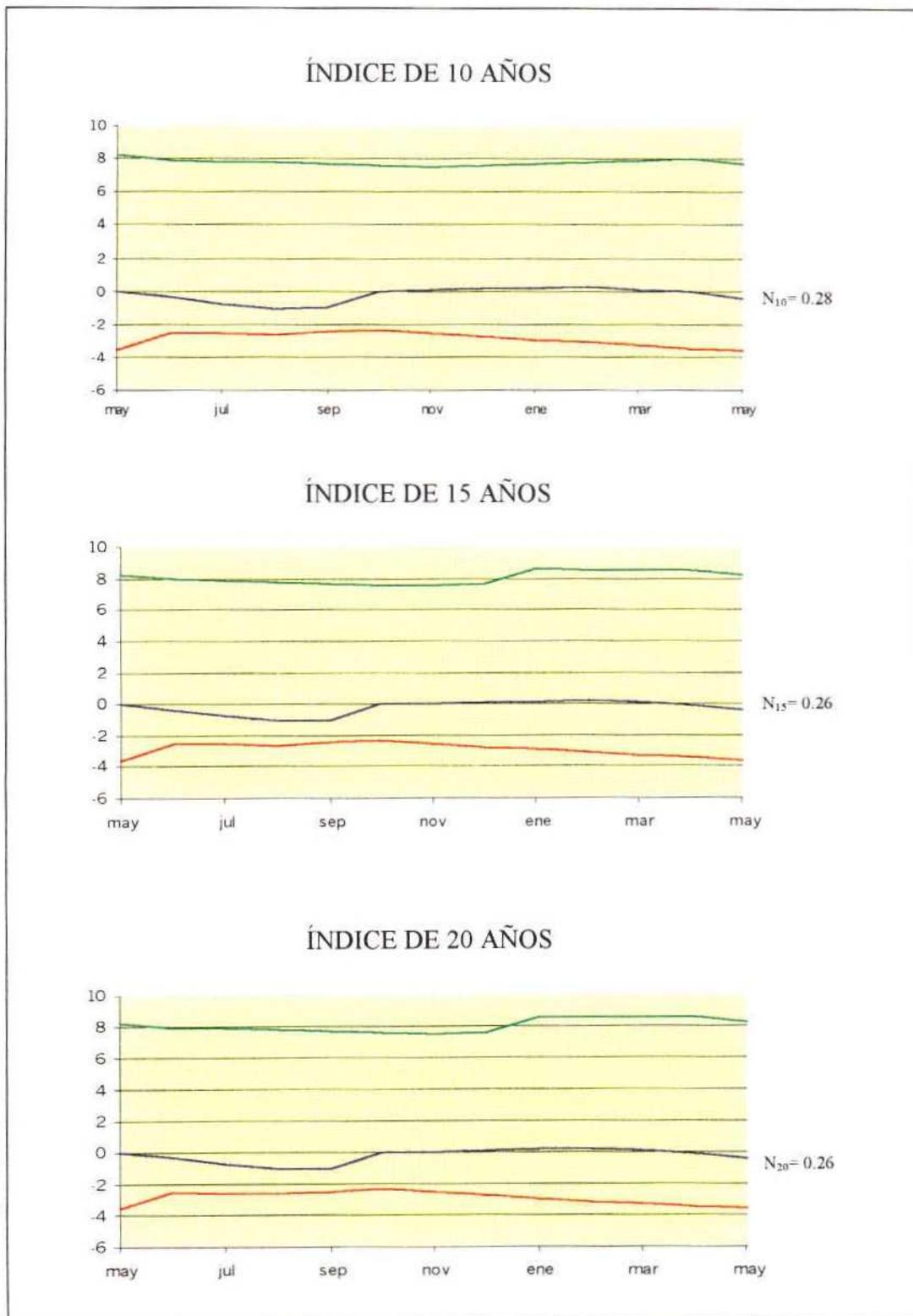
CUENCA DEL JÚCAR U.H. 08.20 Medio Palancia



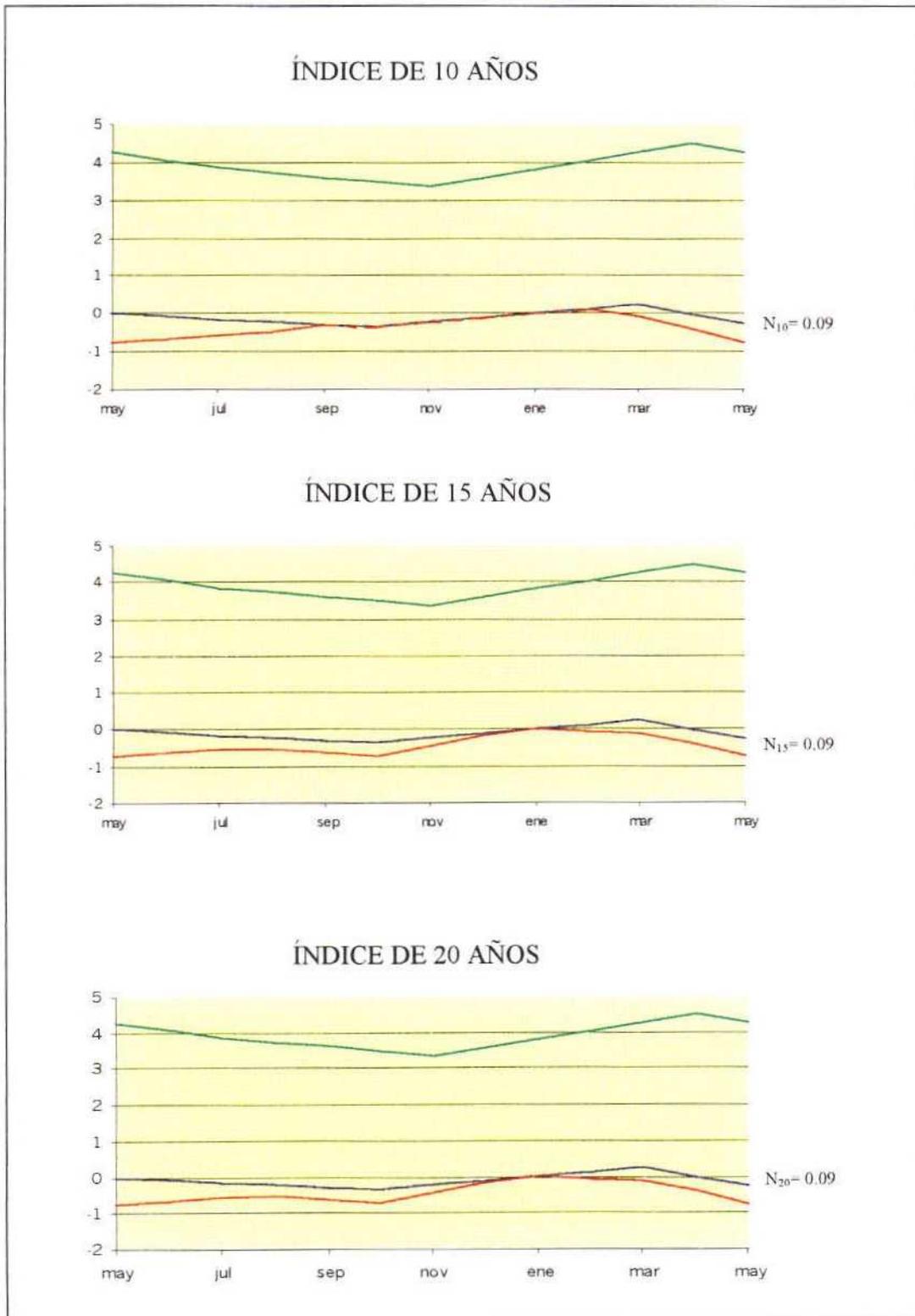
CUENCA DEL JÚCAR U.H. 08.21 Plana de Sagunto



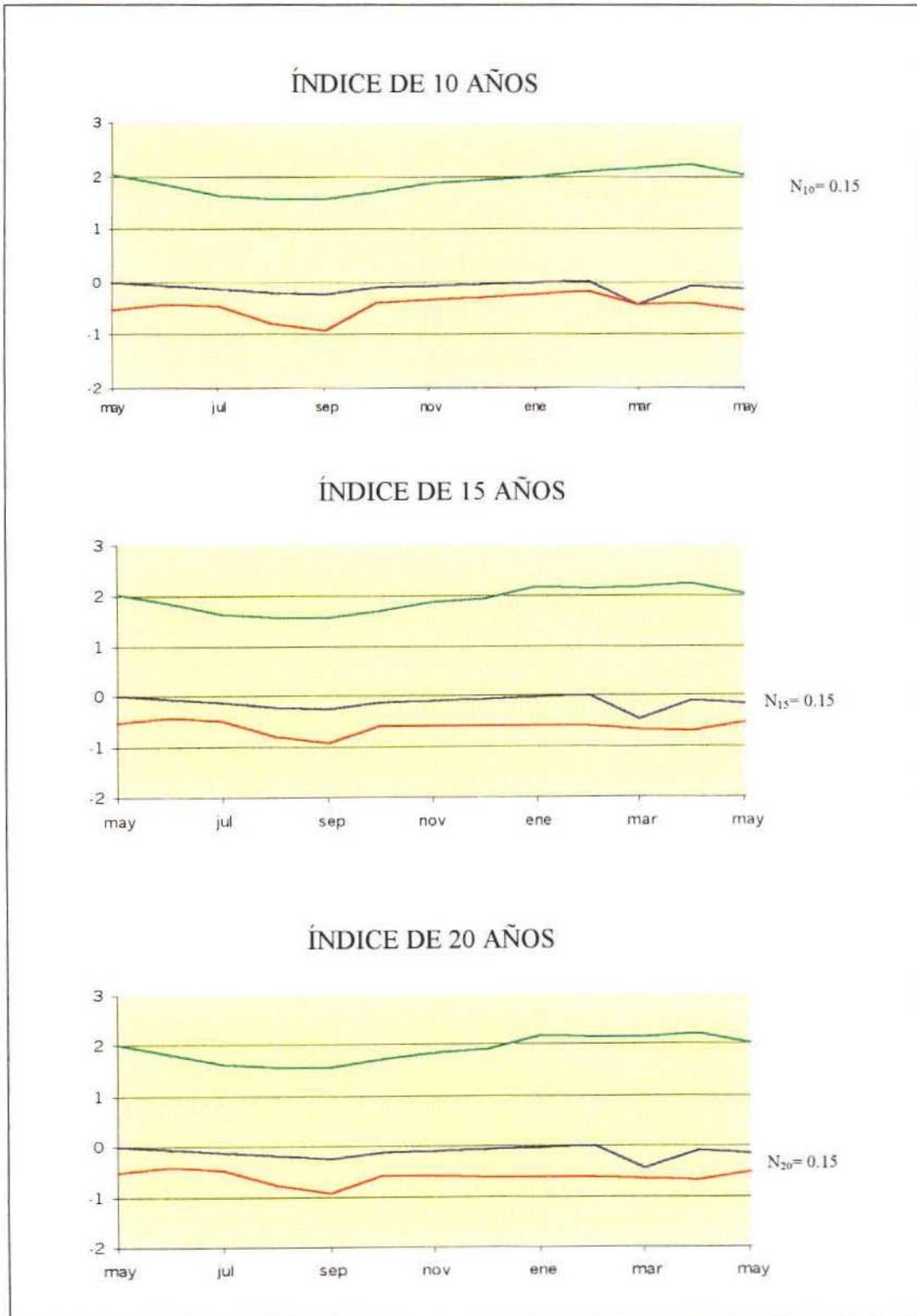
CUENCA DEL JÚCAR U.H. 08.22 Liria-Casinos



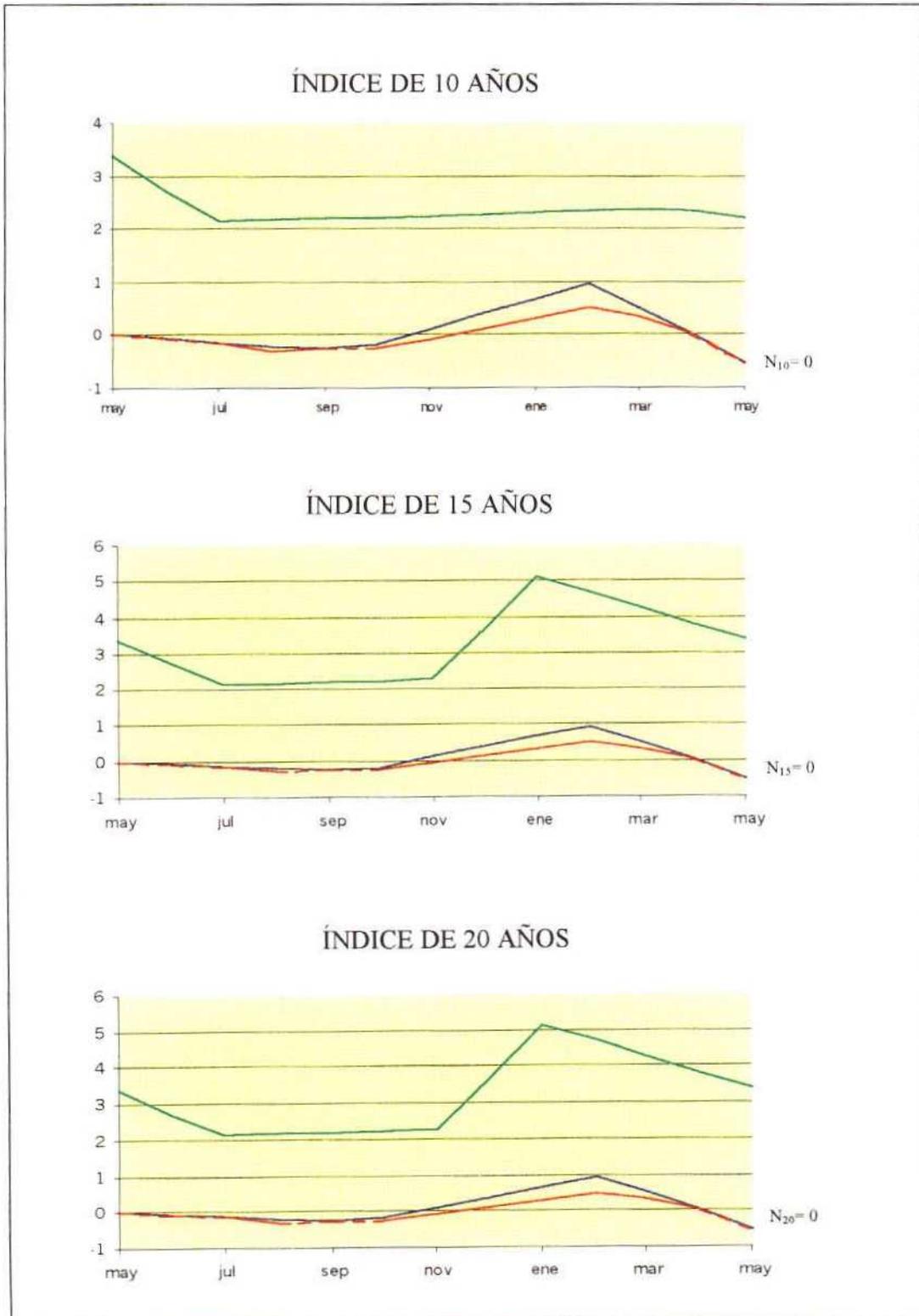
CUENCA DEL JÚCAR U.H. 08.24 Utiel-Requena



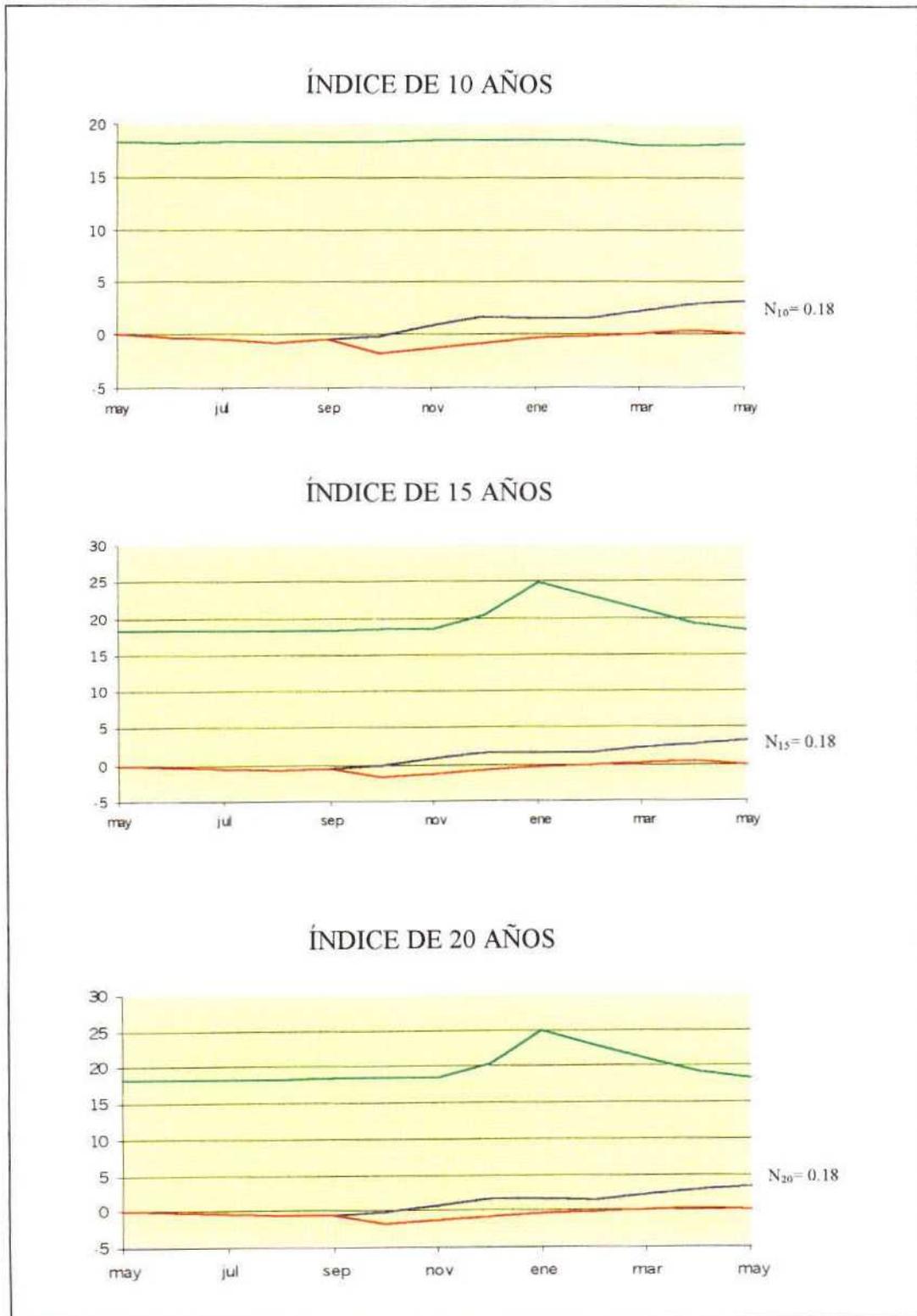
CUENCA DEL JÚCAR
U.H. 08.25 Plana de Valencia Norte



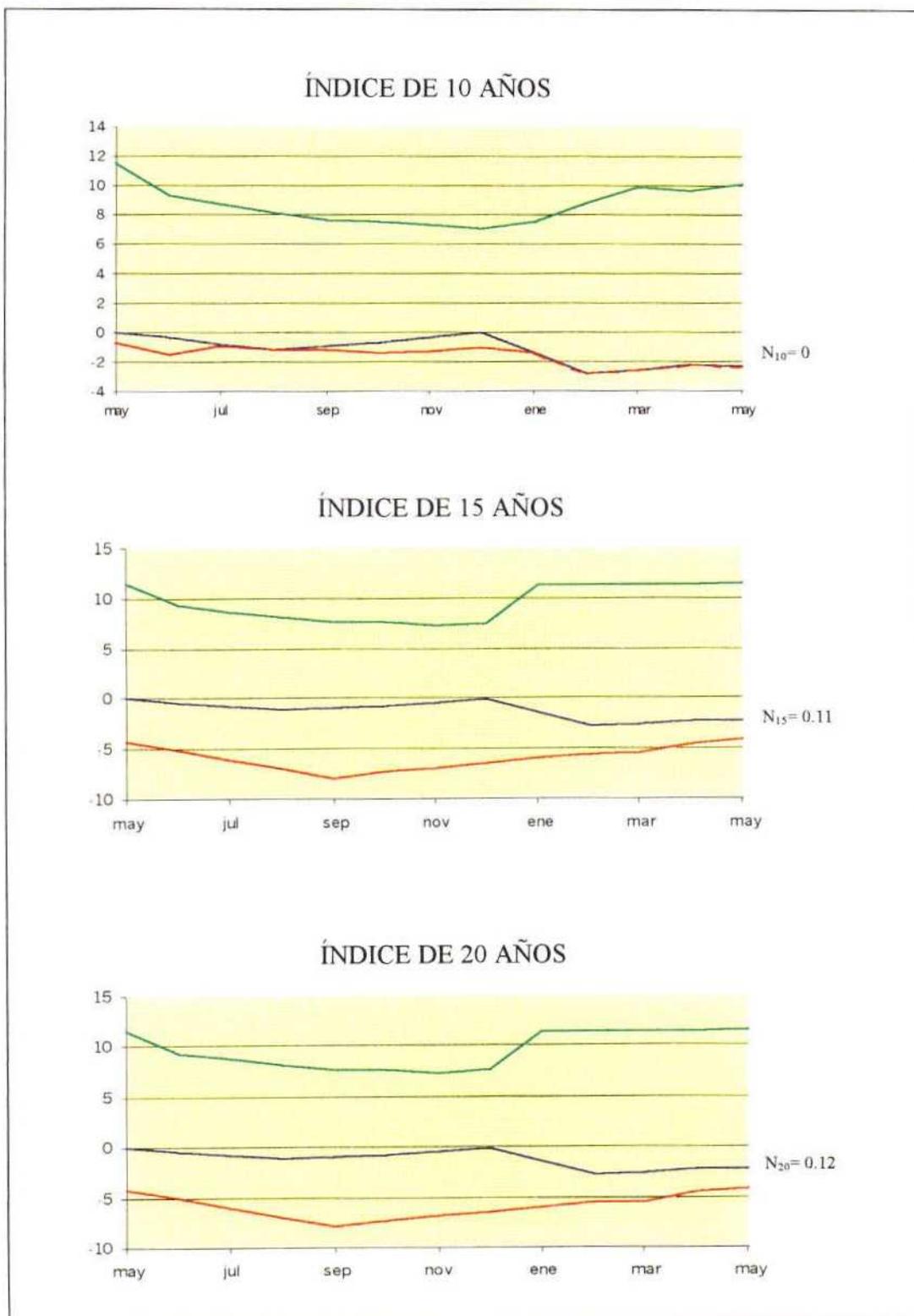
CUENCA DEL JÚCAR U.H. 08.26 Plana de Valencia Sur



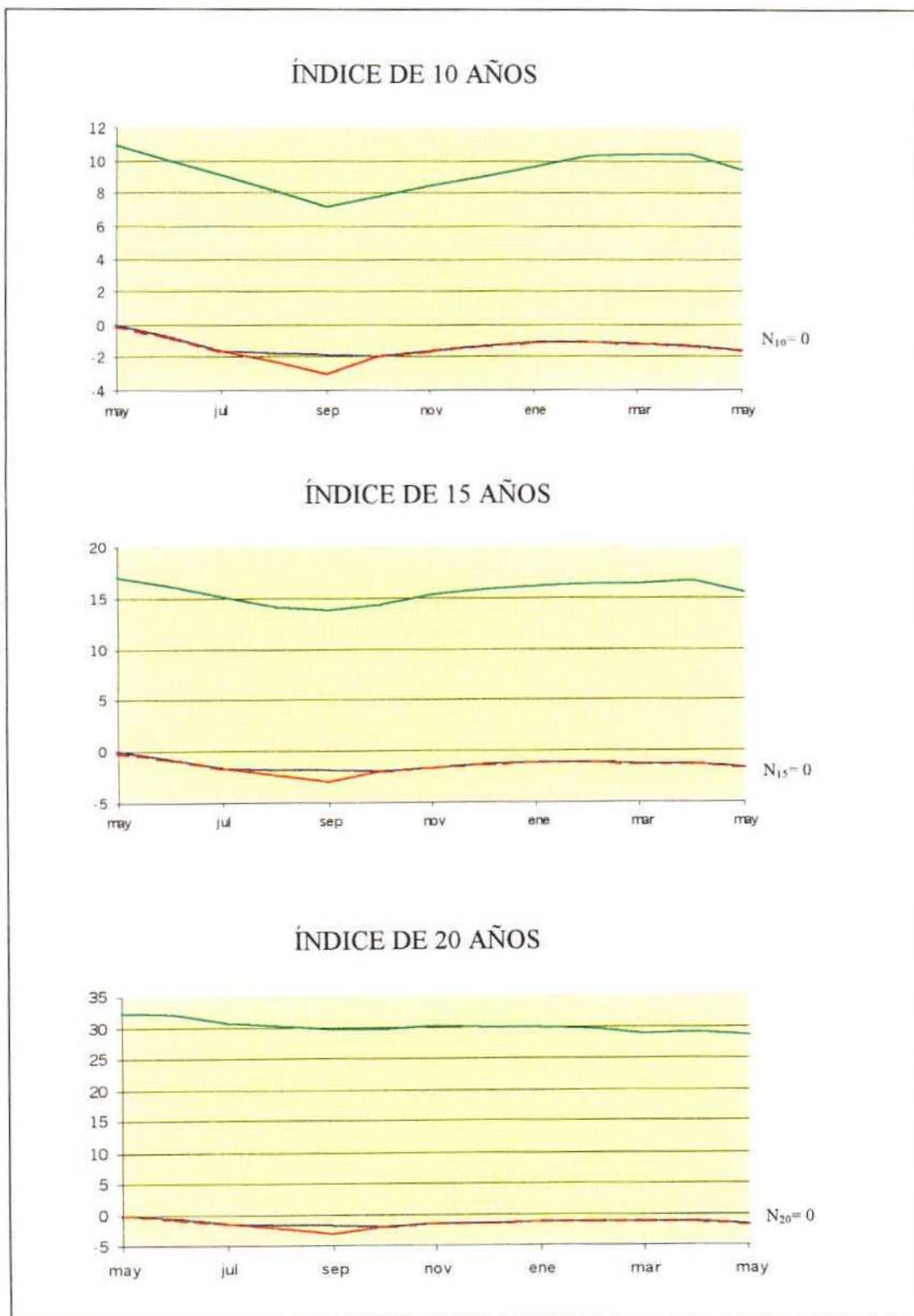
CUENCA DEL JÚCAR U.H. 08.27 Caroch Norte



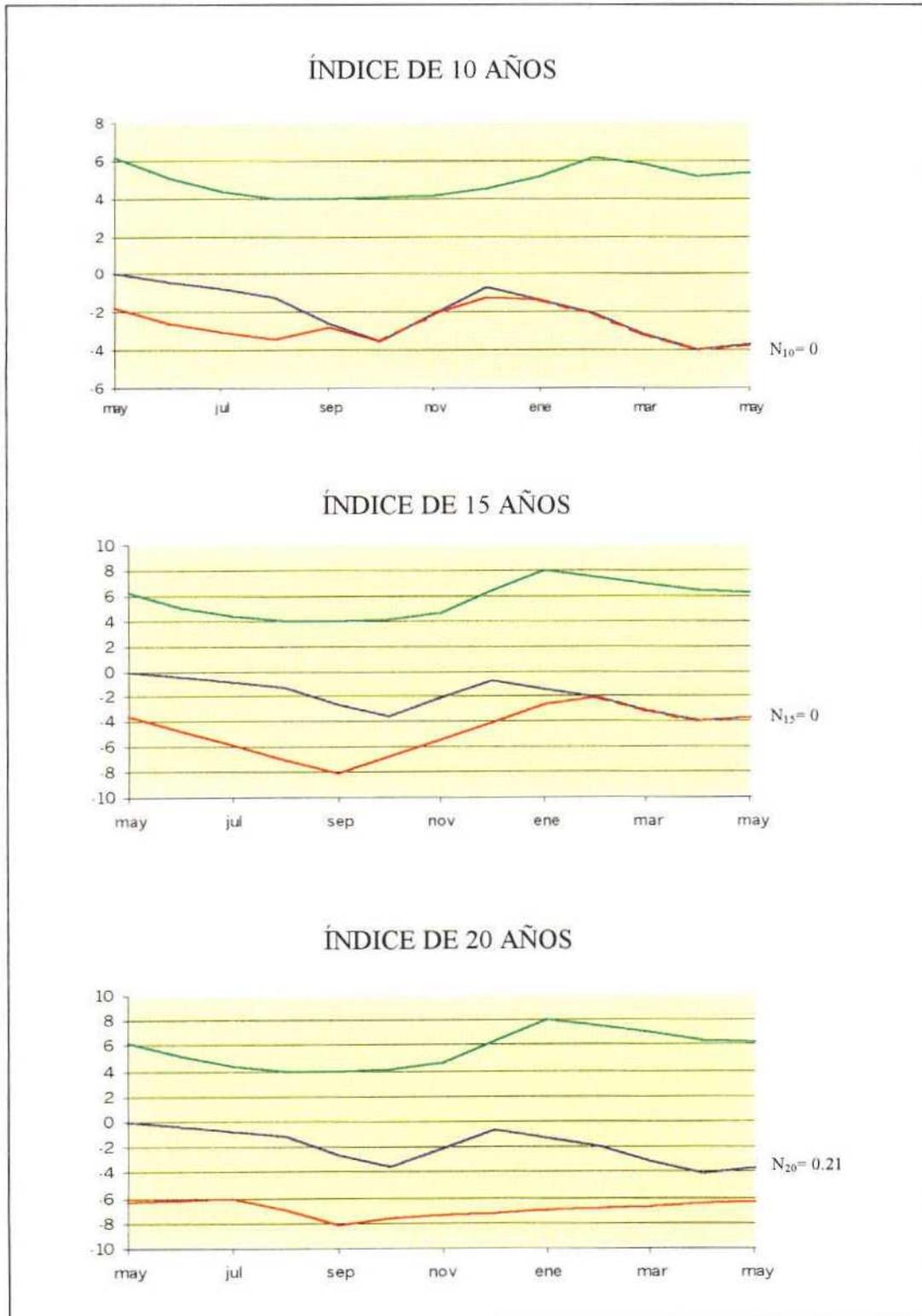
CUENCA DEL JÚCAR U.H. 08.28 Caroch Sur



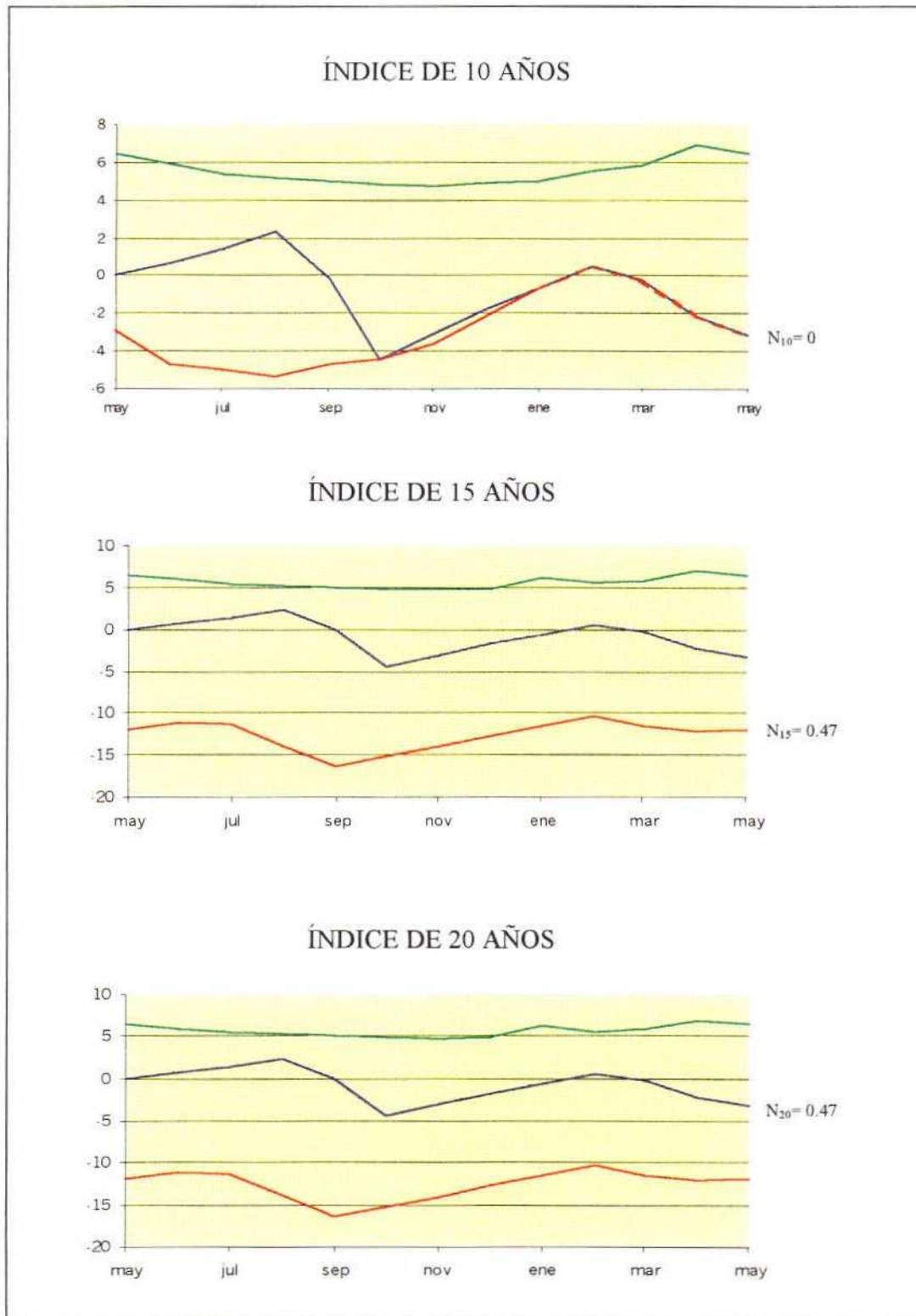
CUENCA DEL JÚCAR U.H. 08.29 Mancha Oriental



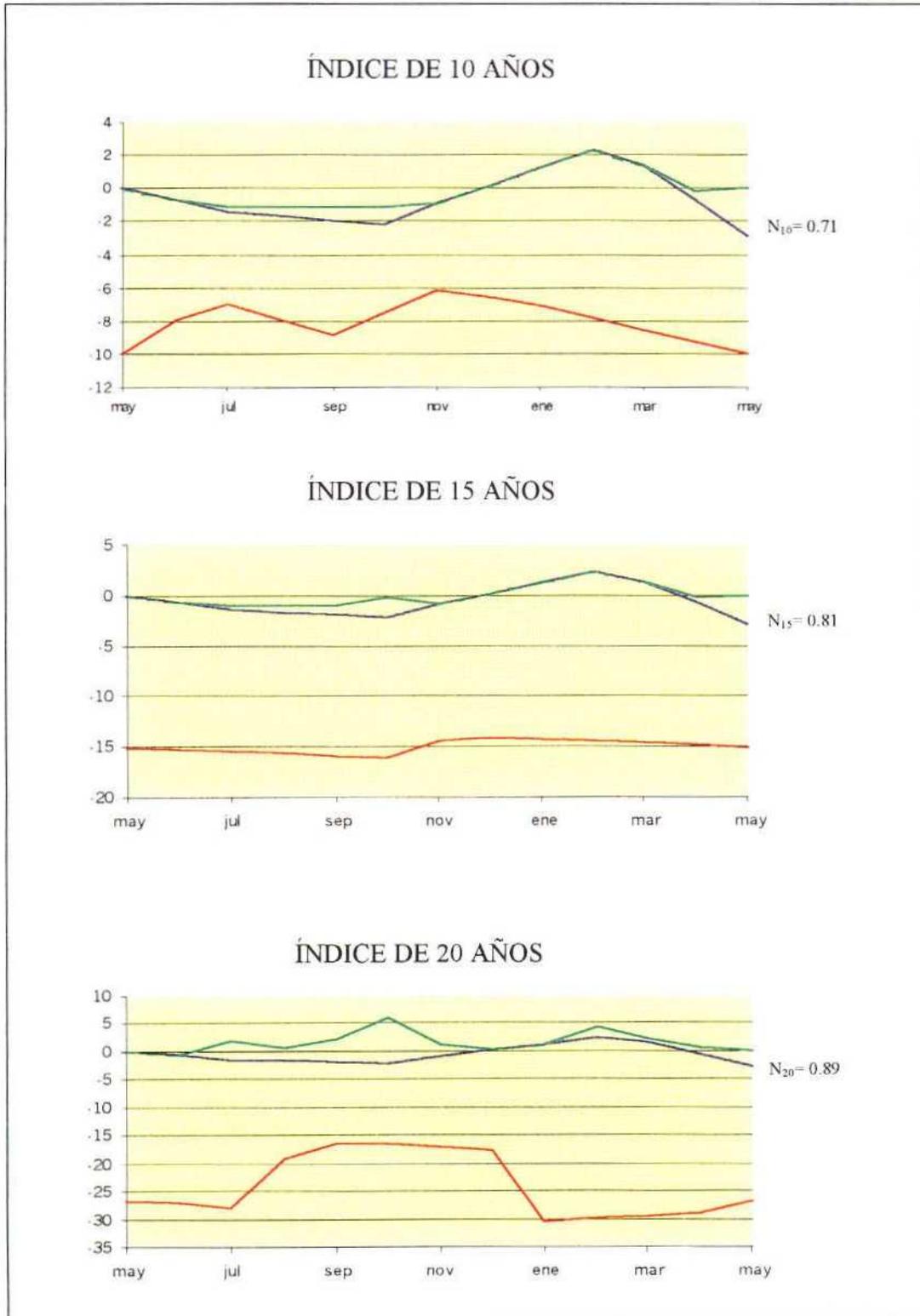
CUENCA DEL JÚCAR U.H. 08.31 Sierra de las Agujas



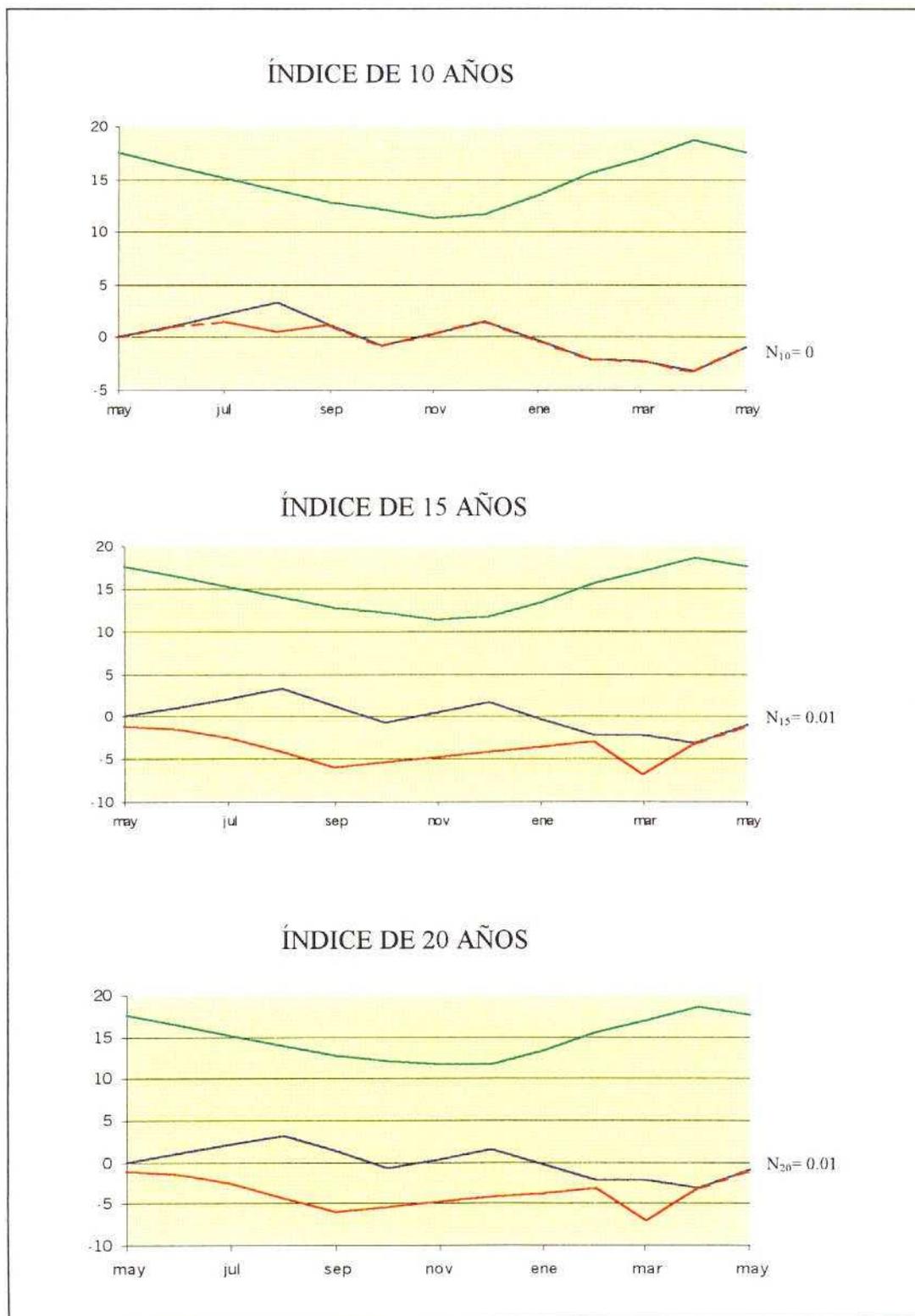
CUENCA DEL JÚCAR U.H. 08.32 Sierra-Grosa



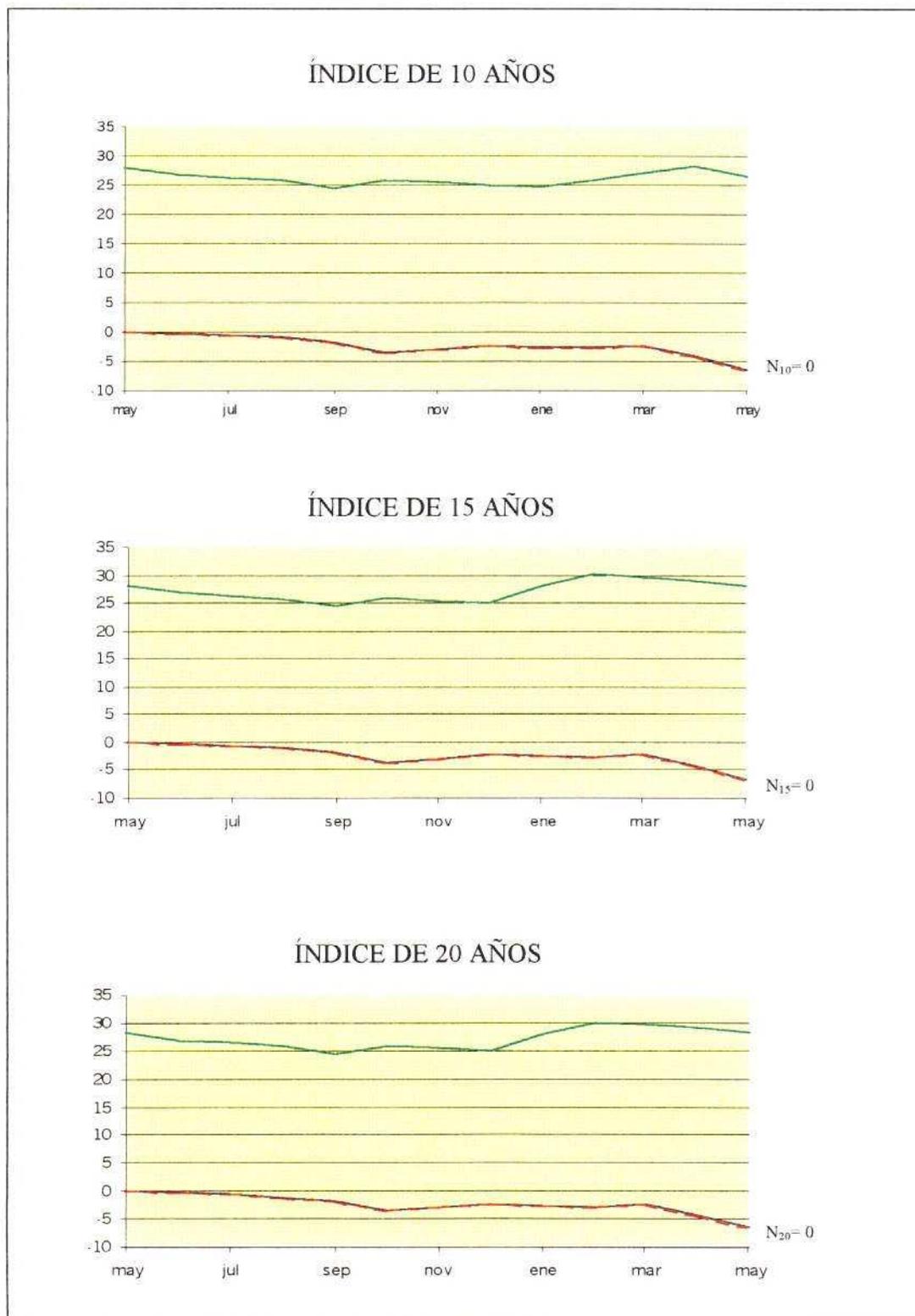
CUENCA DEL JÚCAR U.H. 08.34 Sierra Oliva



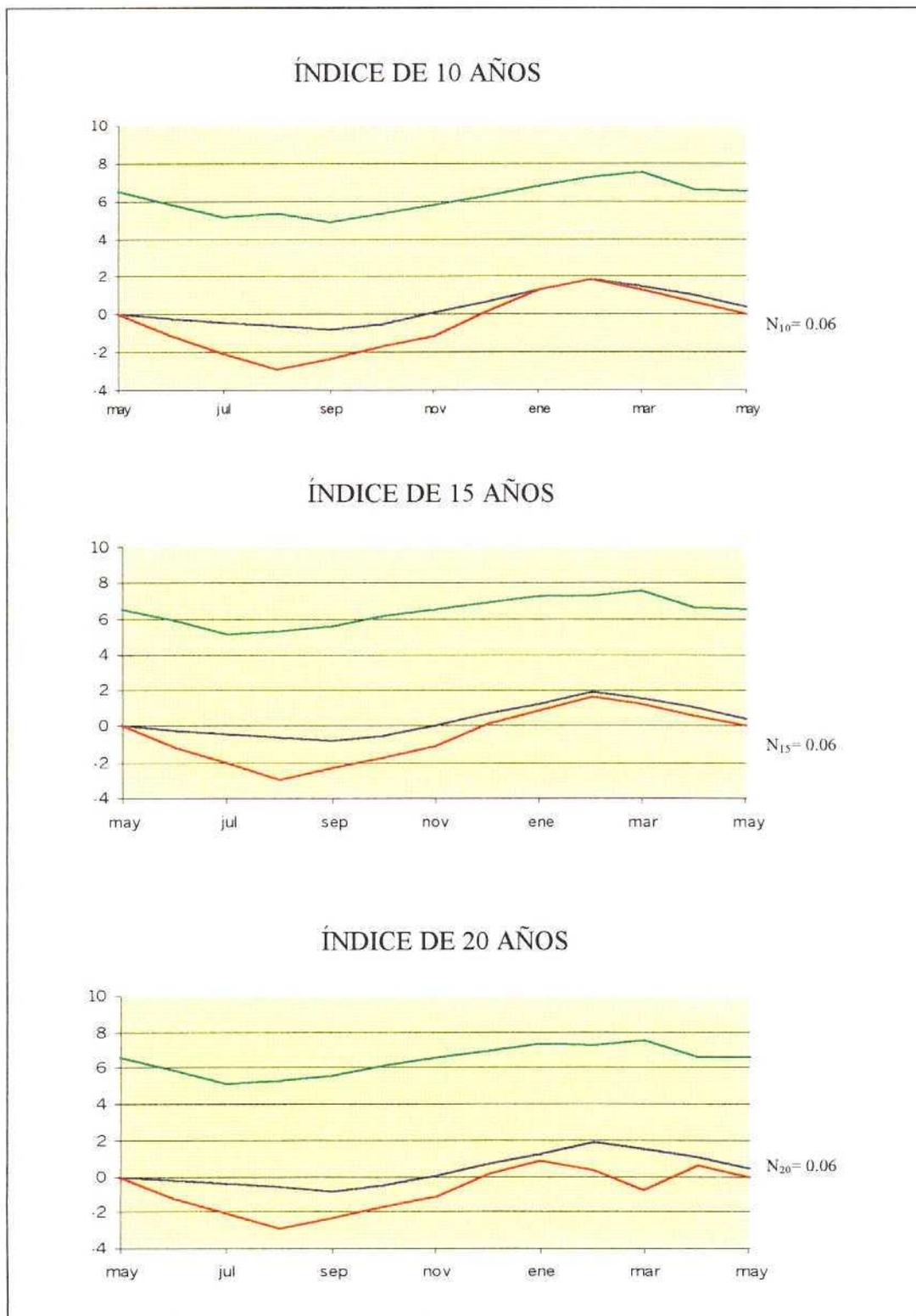
CUENCA DEL JÚCAR U.H. 08.36 Yecla-Villena-Benejama



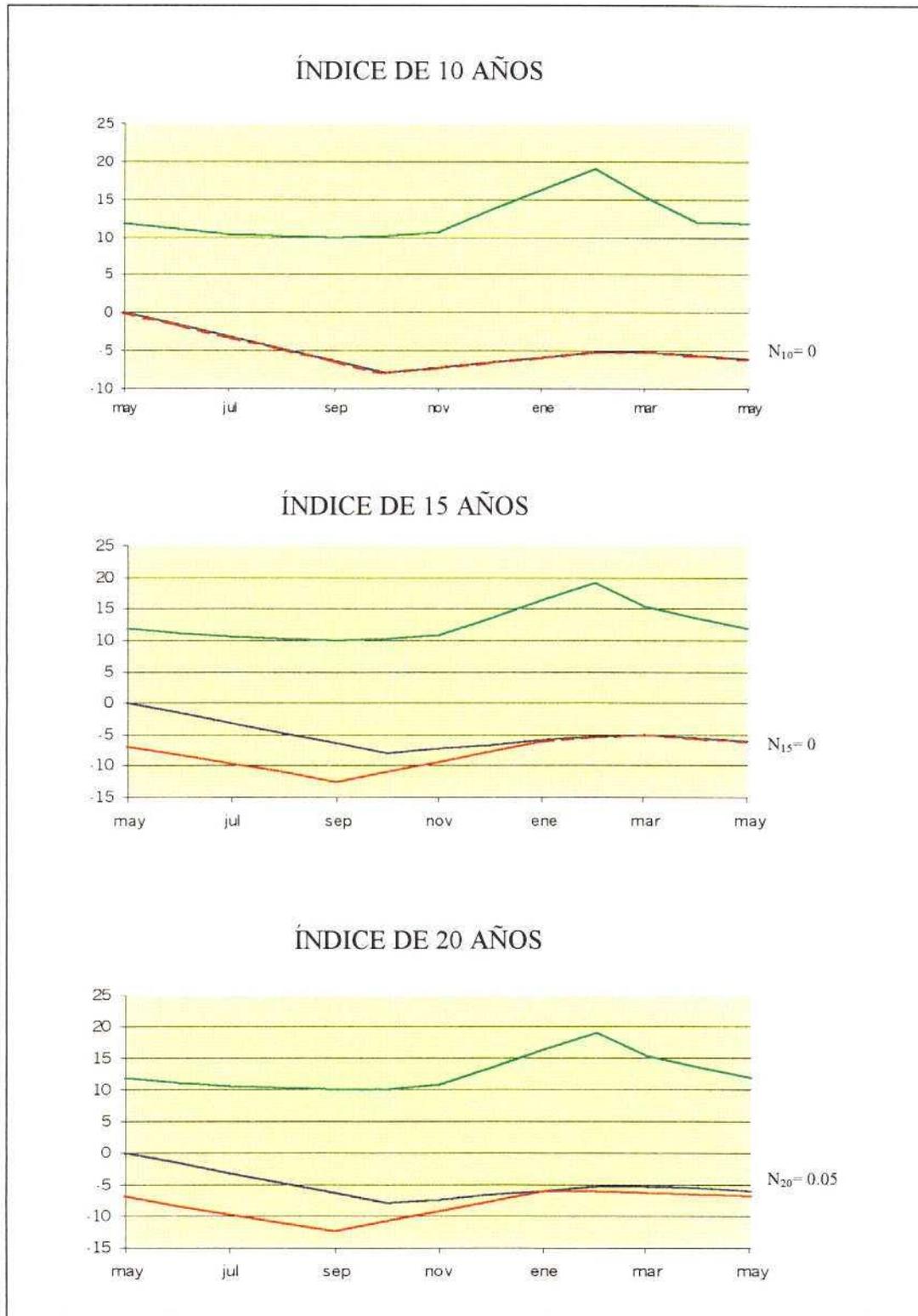
CUENCA DEL JÚCAR U.H. 08.37 Almirante-Mustalla



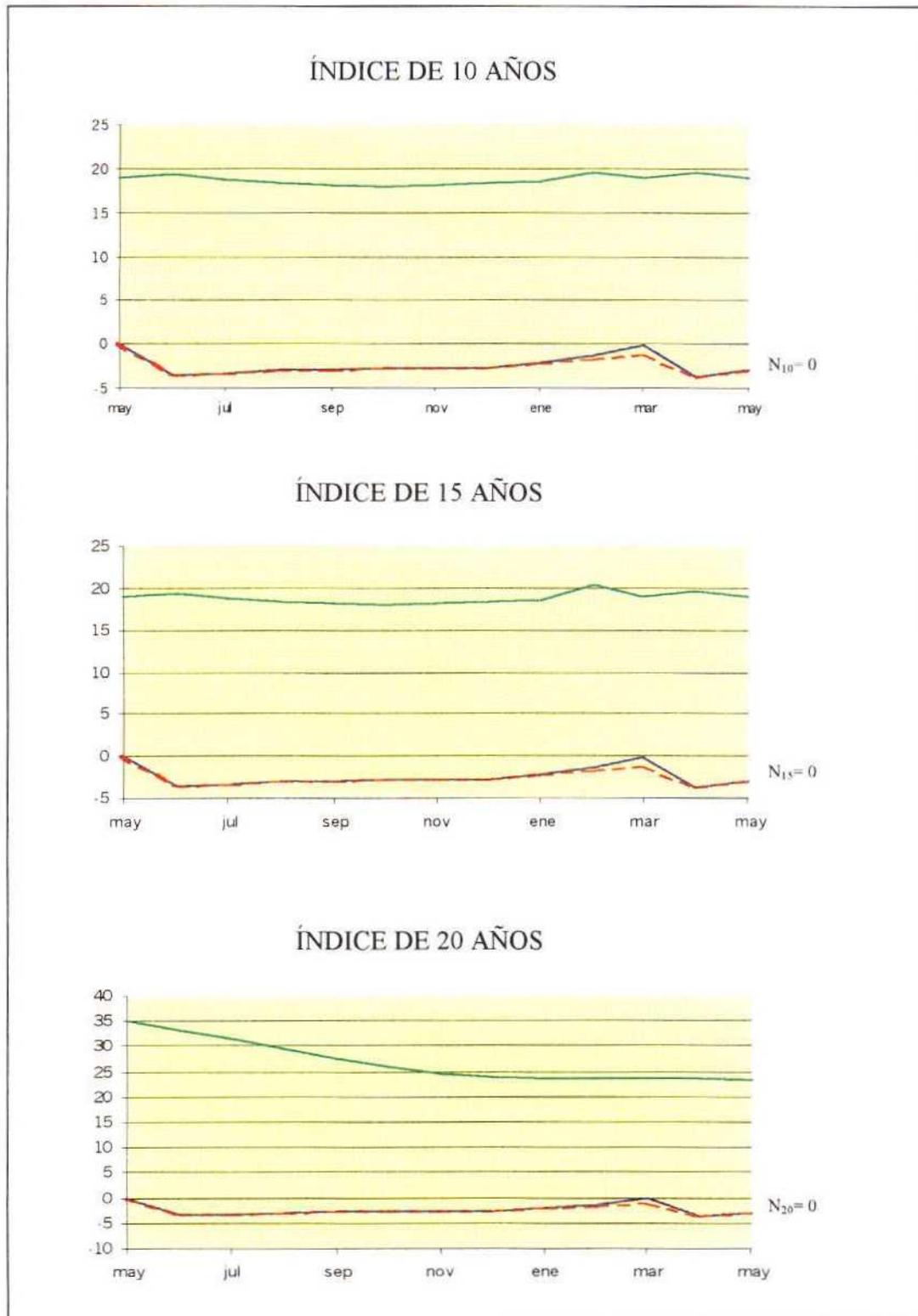
CUENCA DEL JÚCAR U.H. 08.38 Plana de Gandía-Denia



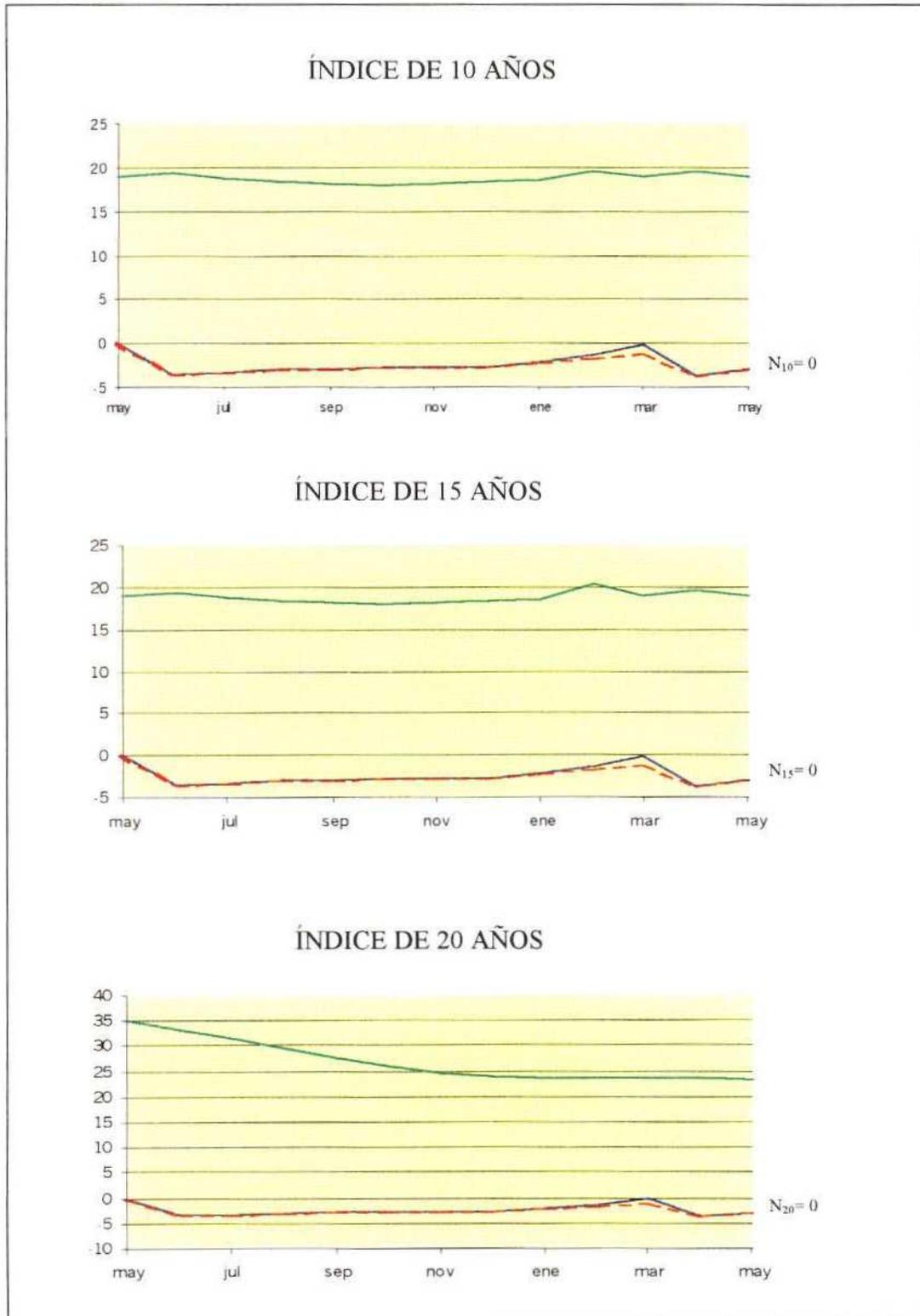
CUENCA DEL JÚCAR U.H. 08.39 Almudaina-Alfaro-Segaria



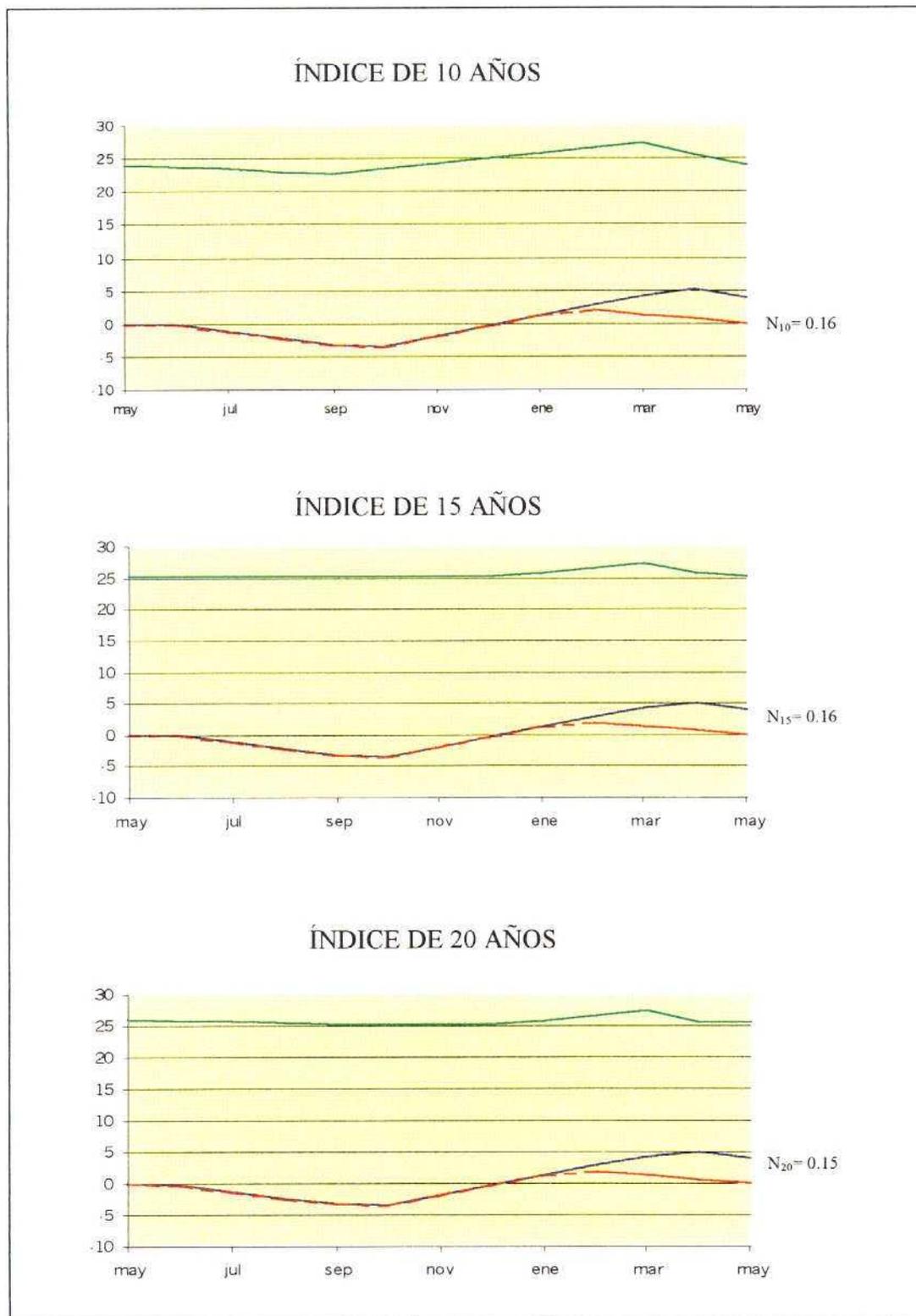
CUENCA DEL JÚCAR U.H. 08.40 Sierra Mariola



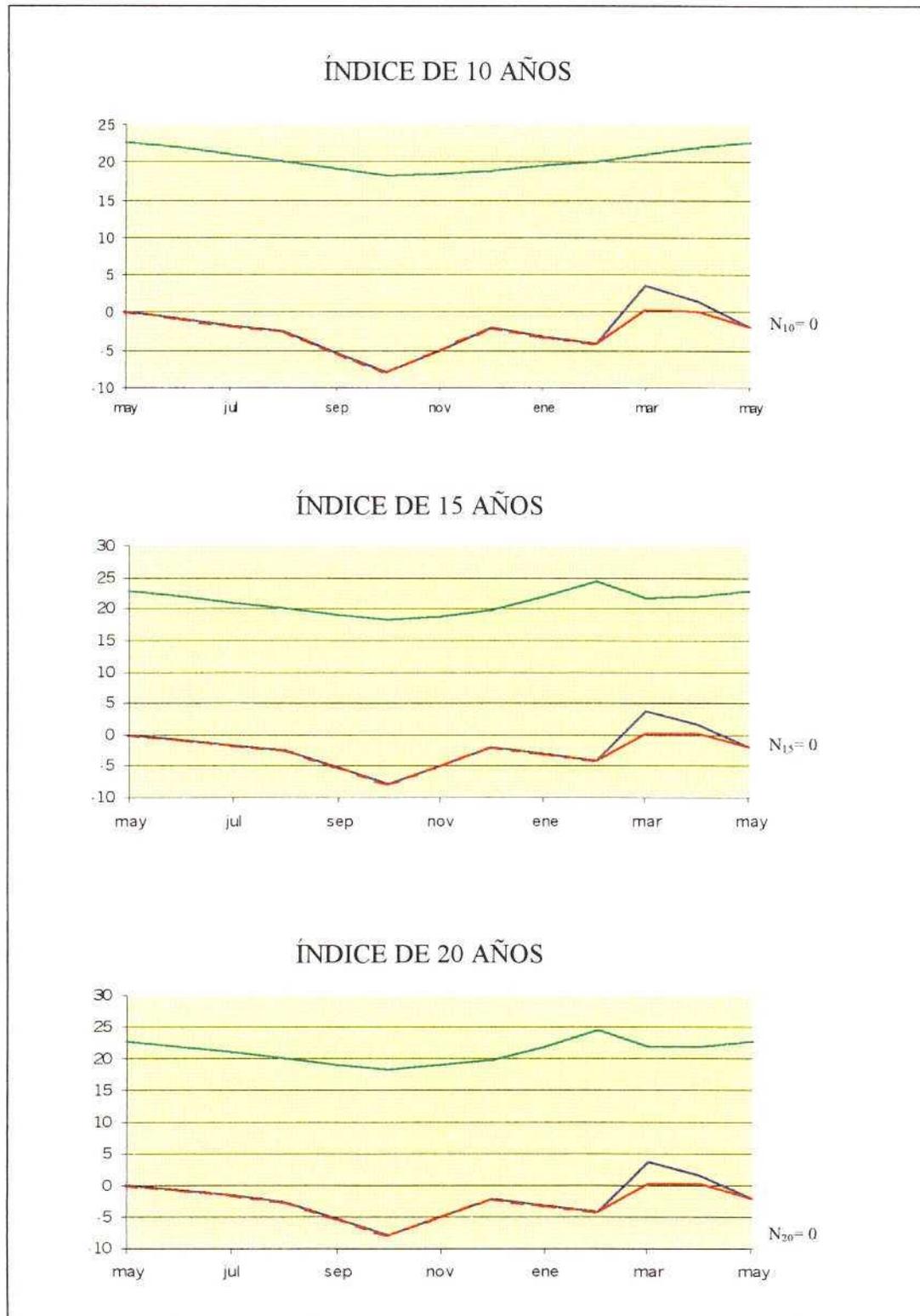
CUENCA DEL JÚCAR U.H. 08.40 Sierra Mariola



CUENCA DEL JÚCAR U.H. 08.45 Sierra Aitana



CUENCA DEL JÚCAR U.H. 08.47 Peñón-Montgó-Bernia



CUENCA DEL JÚCAR U.H. 08.51 Quibas

