

# **ANALISIS AVANZADO DE DATOS**

**Facultad de Biología**

## **INTRODUCCION AL DISEÑO DE EXPERIMENTOS**

**José Luis Vicente Villardón**

**Dpto. de Estadística**

## EJEMPLO INICIAL

Los datos que utilizaremos en esta aplicación forman parte de un proyecto financiado por la Unión Europea, titulado: *Shallow Wetland Lake Function and restoration in a changing European environment* (SWALE). En dicho proyecto se realizaron una serie de experimentos paralelos en los cinco países participantes (Suecia, Finlandia, Holanda, Reino Unido y España). Para esta aplicación hemos utilizado los correspondientes a España, en donde se eligió para el desarrollo del experimento el lago Sentiz, que es un pequeño lago (4,7 Has), poco profundo (profundidad máxima: 1,80 m; profundidad media: 0,8 m), que se localiza en la zona noroeste, concretamente en la provincia de León (2° 33' N, 5° 12' W).

El objetivo de los experimentos era conocer qué efecto tenían variaciones en la densidad de peces, y **diferentes concentraciones** de nutrientes, sobre las redes tróficas de los lagos. Se intentaba por tanto, comprobar cuál era la importancia de los principales impactos que reciben los lagos: introducción incontrolada de peces y aporte de nutrientes, sobre el funcionamiento y estructura de los mismos, así como comparar dichos efectos en un gradiente latitudinal europeo. Para conocer en detalle la metodología y resultados del experimento, consultar en FERNÁNDEZ-ALÁEZ et al (2004), BÉCARES et. al. (2004) y STEPHEN et. al. (2004); aquí incluimos una breve síntesis.

Se sabe que los lagos poco profundos son fuentes de agua de gran valor para la supervivencia de comunidades humanas y animales, por lo que su conservación en condiciones aceptables es un aspecto prioritario. Por otra parte, este tipo de lagos son bastante vulnerables al cambio, y por consiguiente, la identificación de las causas que desencadenan esos cambios son un aspecto de gran interés.

Bajo condiciones naturales, estos ecosistemas están normalmente dominados por plantas sumergidas y/o emergentes, existiendo varios mecanismos biológicos que ayudan a preservar esta dominancia. El sistema puede cambiar desde el dominio de plantas sumergidas y aguas transparentes a comunidades dominadas por fitoplancton, cuya turbidez es responsable de la pérdida de las plantas sumergidas y de muchas otras comunidades de organismos vivientes que

se albergaban tales como, anfibios, peces e invertebrados. El entendimiento de este proceso tiene por tanto gran importancia, y aunque se da con incrementos de los nutrientes, requiere, además, cambios de mecanismos principalmente biológicos que ayudan a incrementar el daño sobre las plantas o interfieren con otros mecanismos establecidos.

Entre los mecanismos que ayudan a estabilizar las comunidades de plantas se puede destacar, por un lado, la protección de las comunidades de peces y moluscos que consumen el fitoplancton del agua adyacente, que pueden estar afectadas fundamentalmente por la pesca; y por otro, la reducción del nitrógeno disponible en el agua, en especial la alta relación nitrógeno/fósforo, ya que se puede considerar que el fósforo es el nutriente que probablemente limite el crecimiento de las algas.

Uno de los objetivos de este experimento fue analizar la influencia de 4 concentraciones diferentes de nutrientes y de 3 niveles peces en la evolución del siguiente conjunto de variables químicas que indican el estado del lago y que se describen con sus unidades en la Tabla siguiente.

Variable	Descripción	Unidades
<b>pH</b>	pH del agua	
<b>ALC</b>	Alcalinidad	meq/litro
<b>CO2</b>	Dióxido de carbono	μmol/litro
<b>NH4</b>	N-NH <sub>4</sub> (Nitrógeno en forma de amonio)	μg/litro N
<b>NO3</b>	N-NO <sub>3</sub> (Nitrógeno en forma de nitrato)	mg/litro N
<b>SRP</b>	Fósforo soluble como fosfato	μg/litro P
<b>TP</b>	Fósforo total	μg/litro P
<b>TSS</b>	Sólidos suspendidos totales (algas y plantas)	mg/litro
<b>CON</b>	Conductividad	μS/cm.
<b>CLO</b>	Clorofila <i>a</i>	μg/litro

La utilización de limnocorrales permitió evaluar, bajo condiciones esencialmente próximas a las naturales, el efecto de la posible eutrofización provocada por la adición de nutrientes, así como de la inclusión de peces planctívoros en el sistema. Durante la semana sexta del estudio se procedió a la eliminación de los macrófitos para acelerar así el cambio a las condiciones de aguas turbias.

Cada limnocorral se diseñó como un cilindro construido con polietileno, de 1 m de altura, rematado en sus extremos por aros de 1 m de diámetro, de lo que resulta un volumen aproximado de  $0,8 \text{ m}^3$ . El aro inferior se enterraba en el sedimento de la laguna, y el aro del extremo superior se anclaba a un armazón de PVC. Cada uno de ellos soportaba cuatro limnocorrales, y se instalaba sobre escuadras metálicas ancladas al sedimento, de forma que el armazón quedase flotando sobre la superficie del agua. Las tres series de limnocorrales se instalaron a lo largo de la laguna en zonas donde la profundidad, durante el período

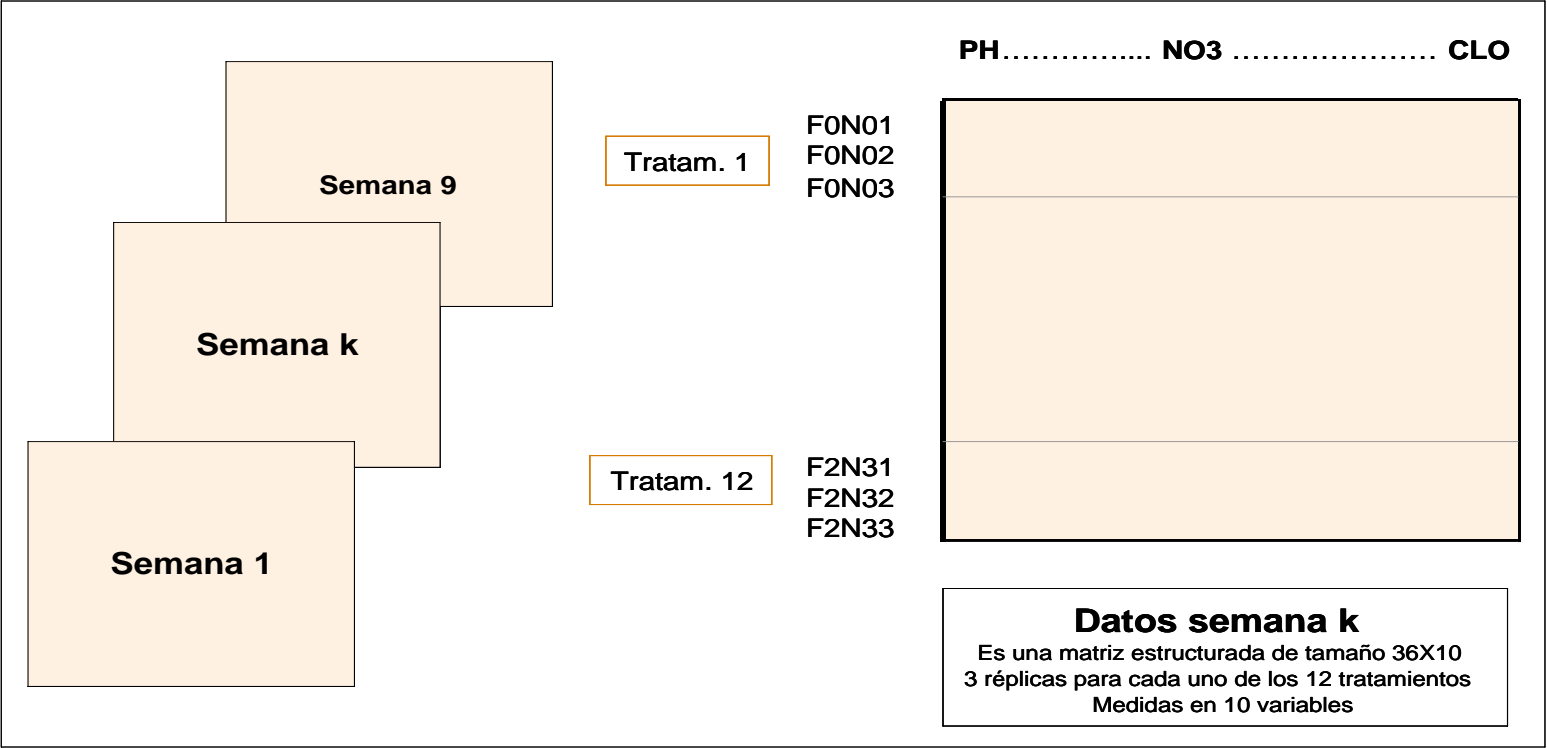
experimental, no fuese inferior a un 1 m, y la cobertura de los macrófitos (*Myriophyllum alterniflorum*), fuese elevada y homogénea.





El experimento se llevó a cabo a lo largo de diez semanas (9 semanas con aplicación de tratamiento y una semana control), en el verano de 1998 (del 9 de junio al 10 de agosto). Para el desarrollo del mismo se utilizaron 36 limnocorrales dispuestos en 3 series de 12, cada una de las cuales constituía una réplica del experimento.

Tratamiento (grupo)	Notación (grupos)	Niveles de peces	Niveles de nutrientes	Niveles de peces	Densidad de peces (g m <sup>-2</sup> )	
1	F0N0	0	0	0	0	
2	F0N1	0	1	1	4	
3	F0N2	0	2	2	20	
4	F0N3	0	3	Niveles de nutrientes	Adiciones semanales (mg l <sup>-1</sup> )	
5	F1N0	1	0		<i>N</i> (KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> )	<i>P</i> (NO <sub>3</sub> Na)
6	F1N1	1	1			
7	F1N2	1	2			
8	F1N3	1	3	0	0	0.0
9	F2N0	2	0	1	1	0.1
10	F2N1	2	1	2	5	0.5
11	F2N2	2	2			
12	F2N3	2	3	3	10	1.0



CÓDIGO	TEMPERATURE	pH	ALKALINITY(meq/l)	CO <sub>2</sub> free	N- NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (µg/l)	N- NO <sub>3</sub> (mg/l)	SRP(µg/l)	TP(µg/l)	TSS (mg/l)	CONDUCTIVITY µS/cm	Chlorophyll a (µg/l)
F0N0W0	22,9	7,9	1,34	0,03635	61,15	0,05	3,51	97,79	8,00	239	0,35
F0N0W0	23,6	8,25	1,40	0,01660	12,85	0,05	2,04	73,04	20,00	243	0,71
F0N0W0	22,8	7,59	1,08	0,06007	35,05	0,05	4,05	215,97	61,29	246	0,69
F0N1W0	22,0	7,73	1,26	0,05121	14,69	0,05	2,69	62,57	16,00	239	0,54
F0N1W0	23,5	7,68	1,31	0,05862	42,63	0,05	1,11	41,69	2,86	242	0,45
F0N1W0	23,9	8,05	0,93	0,01753	18,89	0,06	4,08	94,59	39,03	247	1,12
F0N2W0	21,6	7,68	0,69	0,03174	13,16	0,05	0,37	60,06	2,00	240	0,4
F0N2W0	23,6	8,17	1,09	0,01556	25,54	0,05	0,65	64,18	28,89	243	0,4
F0N2W0	23,1	7,44	1,16	0,09105	21,86	0,06	0,54	64,22	18,00	245	0,38
F0N3W0	21,7	8,24	1,05	0,01312	23,90	0,05	1,81	52,39	20,00	242	0,74
F0N3W0	23,4	8,39	1,34	0,01147	54,80	0,05	2,17	73,31	26,67	245	0,86
F0N3W0	23,3	7,32	1,65	0,17045	17,35	0,05	0,54	126,32	34,00	248	0,17
F1N0W0	22,1	7,34	1,14	0,11454	27,58	0,05	4,09	100,84	20,00	237	0,6
F1N0W0	23,8	8	1,33	0,02823	28,10	0,05	3,07	219,80	106,89	245	0,67
F1N0W0	23,4	7,58	1,40	0,07897	16,94	0,05	1,46	128,26	39,40	250	0,23
F1N1W0	22,3	7,35	0,81	0,07952	47,95	0,05	6,09	152,74	12,00	240	0,68
F1N1W0	23,5	8,37	1,38	0,01235	37,51	0,05	1,55	56,63	5,00	245	0,24
F1N1W0	22,6	7,38	1,42	0,12932	13,98	0,05	1,03	58,56	10,00	243	0,43
F1N2W0	21,6	8,5	1,11	0,00750	12,95	0,05	1,92	71,74	8,00	239	0,61
F1N2W0	23,4	8,56	1,33	0,00757	85,19	0,1	0,00	65,67	26,67	244	0,32
F1N2W0	23,5	8,43	1,42	0,01101	18,79	0,08	1,20	237,30	40,54	243	0,58
F1N3W0	22,4	7,63	1,33	0,06796	18,58	0,05	3,72	77,65	8,00	240	0,35
F1N3W0	23,6	8,82	1,47	0,00444	29,02	0,05	0,13	63,46	10,00	243	1,12
F1N3W0	22,3	7,07	1,22	0,22711	19,40	0,08	2,87	132,00	44,19	241	0,18

F2N0W0	23,2	8,47	1,43	0,01012	31,58	0,05	4,35	97,66	8,11	238	0,4
F2N0W0	23,5	8,15	1,32	0,01976	53,27	0,06	6,17	158,09	54,35	240	1,06
F2N0W0	23,7	7,77	1,47	0,05326	16,43	0,06	0,40	70,12	15,00	248	0,6
F2N1W0	21,7	7,85	1,34	0,04155	20,12	0,05	3,77	115,00	40,00	237	0,38
F2N1W0	23,1	8,66	1,42	0,00638	37,00	0,05	0,64	86,59	4,00	248	0,5
F2N1W0	23,5	7,56	1,35	0,08011	15,92	0,08	1,39	221,21	70,00	243	0,44
F2N2W0	22,7	8,12	1,06	0,01726	18,27	0,05	0,48	58,80	26,00	236	0,27
F2N2W0	23,7	8,95	1,50	0,00326	77,93	0,13	0,83	125,25	26,00	244	0,75
F2N2W0	22,8	7,25	1,31	0,16015	20,01	0,05	2,84	108,32	53,33	246	0,9
F2N3W0	22,8	7,63	1,04	0,05283	24,00	0,05	1,77	78,09	4,00	240	0,48
F2N3W0	23,4	8,61	0,91	0,00461	33,42	0,06	1,18	91,46	16,00	243	0,87
F2N3W0	22,5	7,21	1,36	0,18310	13,46	0,06	2,11	104,14	30,00	238	0,52

Los datos se repiten durante 10 semanas y dos años (1998, 1999). Se recogió también la abundancia de aproximadamente 100 especies distintas de fitoplancton y 20 de zooplancton.

Se dispone, entonces, de 360 observaciones sobre aproximadamente 120 variables en dos años, es decir, tenemos que analizar 86400 valores numéricos que se caracterizan además por los tratamientos las semanas y los años.

## ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LA SEMANA 0

### Descriptive Statistics

	TEMPERATURE	pH	ALKALINITY(meq/l)	CO2 free	N-NH4+ (mg/l)	-NO3 (mg/l)	SRP(mg/l P)	(mg/l)	TSS (mg/l)	CONDUCTIVITY mS/cm	Chlo...
Mean	22,958	7,936	1,255	,055	29,424	,058	2,128	102,931	26,506	242,500	,555
Std. Dev.	,678	,498	,205	,057	17,817	,017	1,597	51,125	22,020	3,484	,250
Std. Error	,113	,083	,034	,009	2,969	,003	,266	8,521	3,670	,581	,042
Count	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Minimum	21,600	7,070	,690	,003	12,850	,050	0,000	41,690	2,000	236,000	,170
Maximum	23,900	8,950	1,650	,227	85,190	,130	6,170	237,300	106,890	250,000	1,120
# Missing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Variance	,460	,248	,042	,003	317,434	2,784E-4	2,549	2613,728	484,900	12,139	,063
Coef. Var.	,030	,063	,164	1,034	,606	,289	,750	,497	,831	,014	,451
Median	23,150	7,875	1,330	,034	22,880	,050	1,790	89,025	20,000	243,000	,510

Note: second order statistics were computed with n in the denominator.

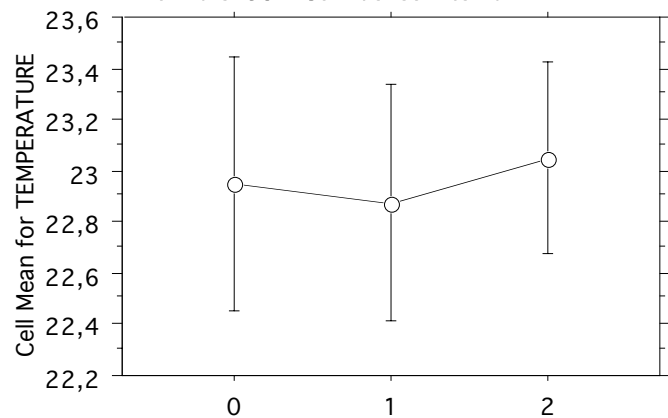
### Descriptive Statistics

#### Split By: FISH

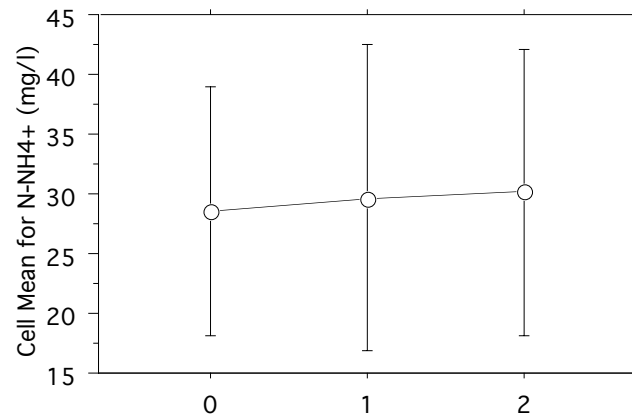
	TEMPERATURE, Total	TEMPERATURE, 0	TEMPERATURE, 1	TEMPERATURE, 2
Mean	22,958	22,950	22,875	23,050
Std. Dev.	,678	,748	,701	,561
Std. Error	,113	,216	,202	,162
Count	36	12	12	12
Minimum	21,600	21,600	21,600	21,700
Maximum	23,900	23,900	23,800	23,700
# Missing	0	0	0	0
Variance	,460	,559	,492	,314
Coef. Var.	,030	,033	,031	,024
Median	23,150	23,200	23,000	23,150

Note: second order statistics were computed with n in the denominator.

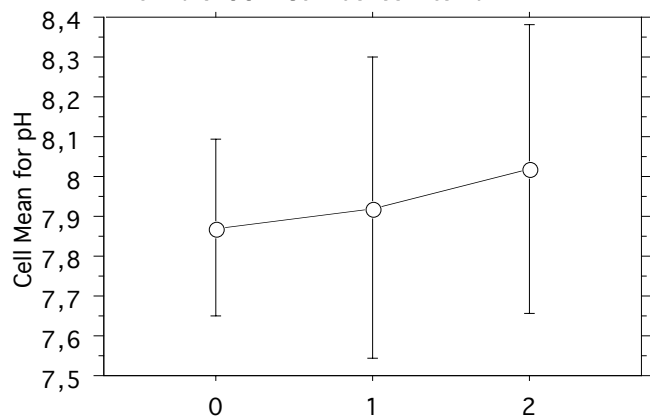
Cell Line Chart  
Grouping Variable(s): FISH  
Error Bars: 95% Confidence Interval



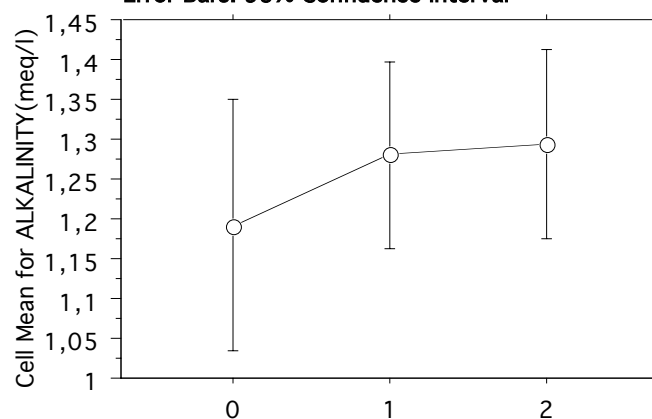
Cell Line Chart  
Grouping Variable(s): FISH  
Error Bars: 95% Confidence Interval

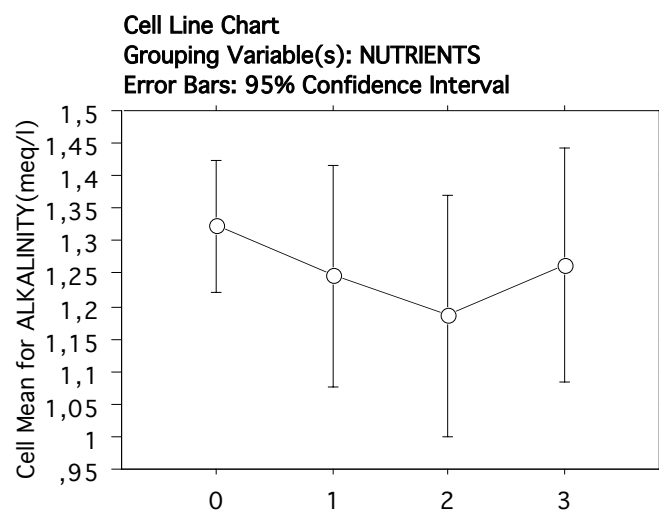
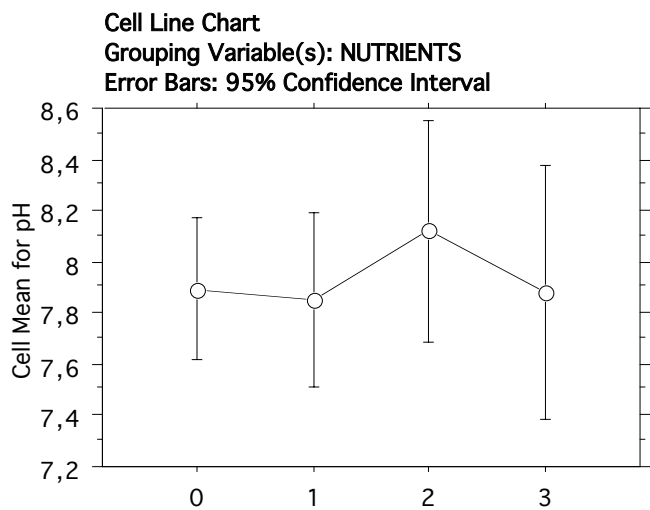
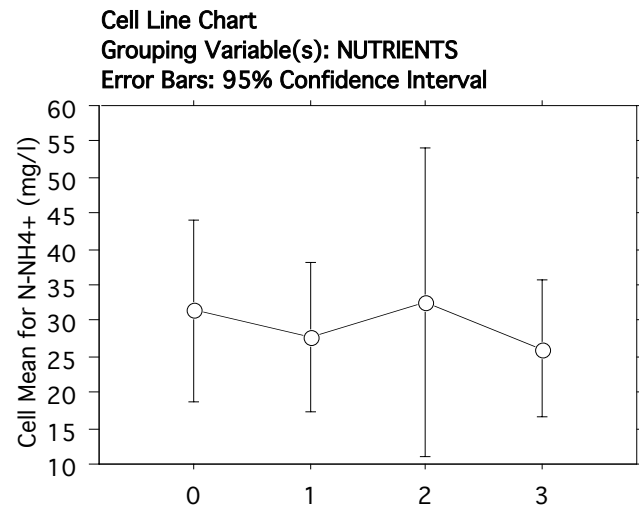
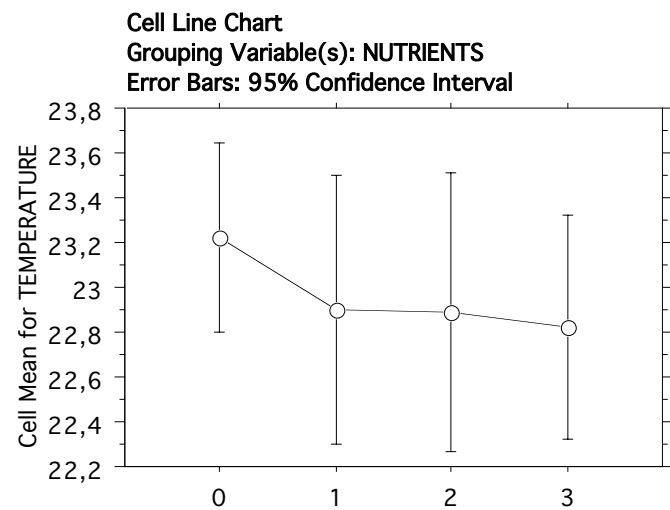


Cell Line Chart  
Grouping Variable(s): FISH  
Error Bars: 95% Confidence Interval

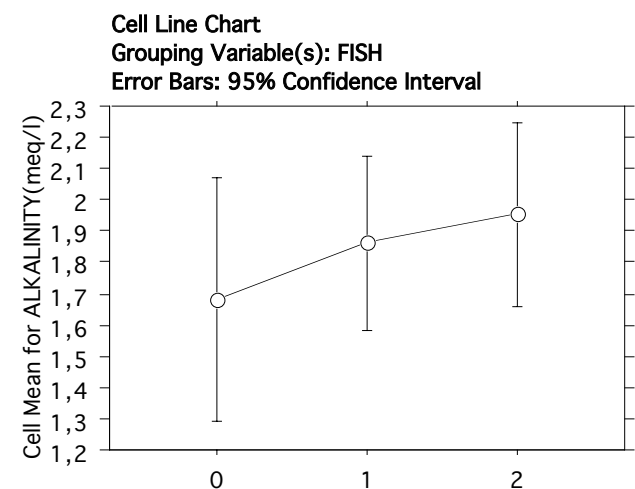
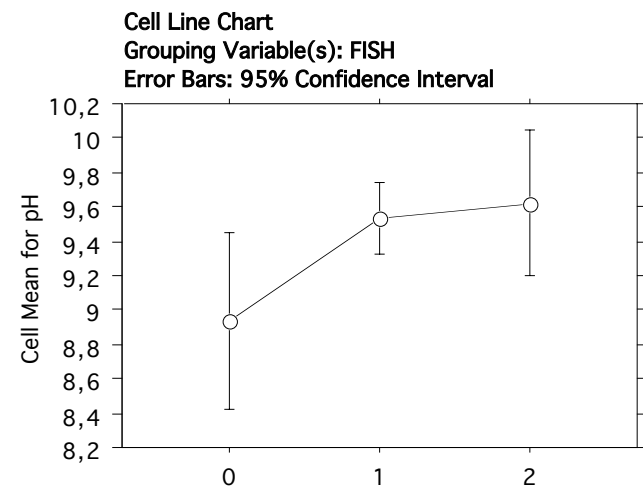
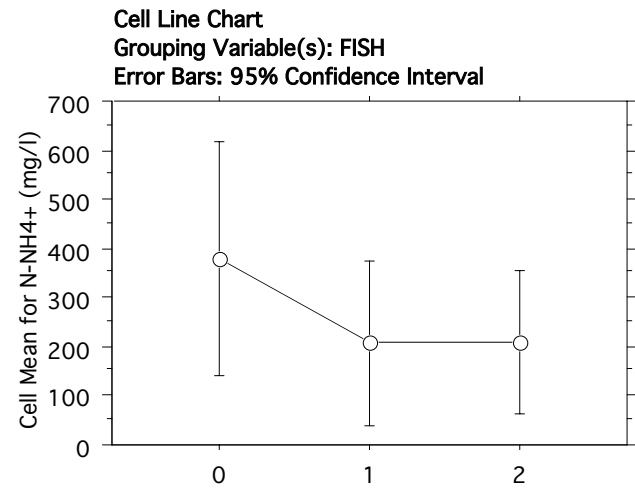
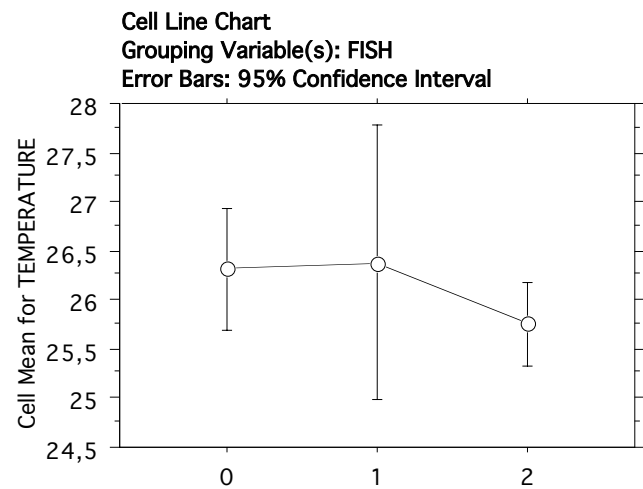


Cell Line Chart  
Grouping Variable(s): FISH  
Error Bars: 95% Confidence Interval

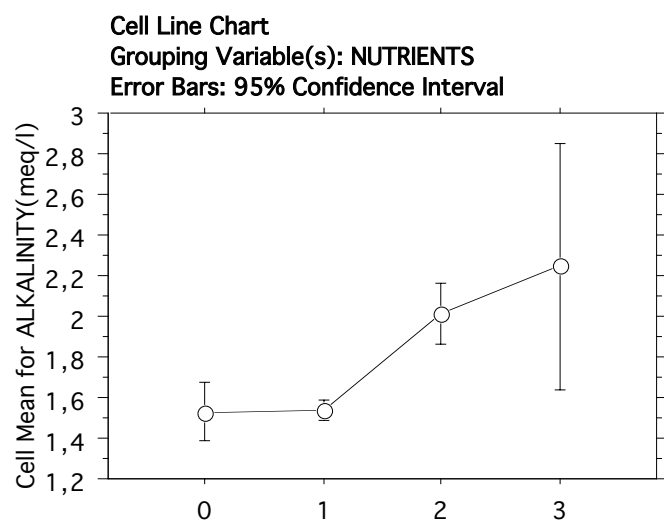
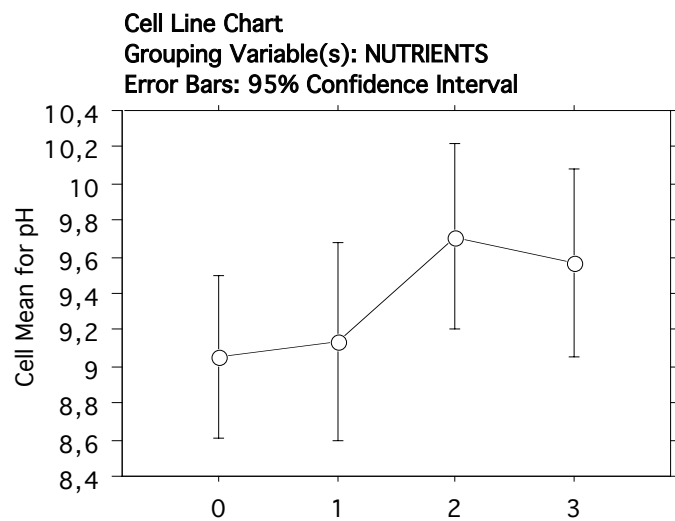
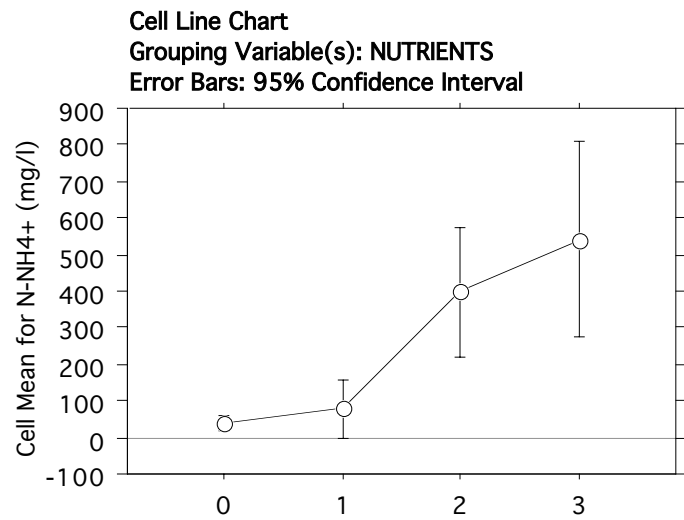
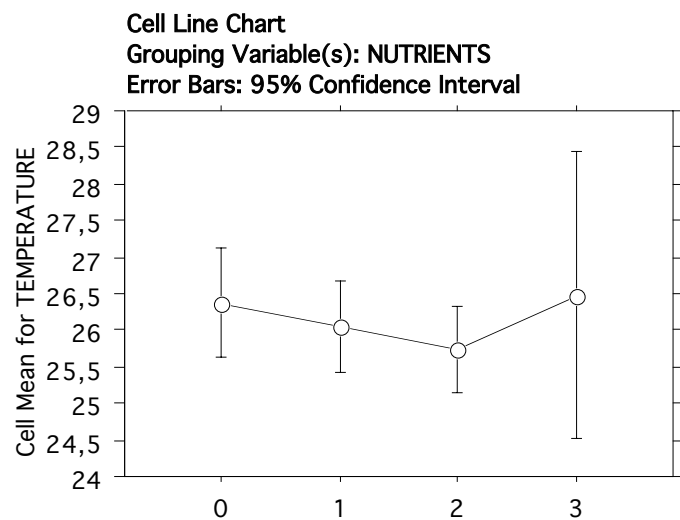




SEMANA 4







## BOX-PLOTS

