

PROPUESTA Y VALIDACIÓN DE UNA CLASIFICACIÓN CUALITATIVA DE LOS ESPACIOS SONOROS DE UN ÁREA RURAL

PACS: 43.50.Rq

López Uribarri, L.; Marey Pérez, M.F.; González Vázquez, X.P.
GI-1716 Proyectos y Planificación. Dep. Enxeñería Agroforestal. Universidade de Santiago de Compostela. E.P.S.
Campus Universitario de Lugo. 27002. España. Tel.+34. 670.542.146. E-mail: leiresau@gmail.com

ABSTRACT

Every rural area has a particular soundscape, and in order to preserve it, we must develop some methodologies that could be able to characterize it. This study establishes a correlation between quantitative and qualitative variables that define the soundscape of a rural area in Lugo, Spain. We are able to distinguish different areas depending on its acoustic sources. We propose a multivariate classification technique to examine whether there are significant differences between these spaces about their L_{eq} and L_{90} indicators. We conclude that we can predict with a high degree of reliability what kind of sound sources are acting in a given space based on these indices.

RESUMEN

Cada área rural tiene su paisaje sonoro, y para conservarlo, es fundamental desarrollar metodologías que lo definan. Este estudio establece una correlación entre variables cuantitativas y cualitativas que caracterizan los espacios sonoros de una zona rural de Lánara, Lugo, España. Se distinguen estos espacios en función de las fuentes dominantes y se propone una técnica de clasificación multivariante para analizar si existen diferencias significativas entre estos espacios respecto sus indicadores L_{eq} y L_{90} . Se concluye que se puede predecir con elevado grado de fiabilidad qué tipo de fuentes sonoras están actuando en un determinado espacio en función de estos índices.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Es en los países desarrollados (entre ellos, España) donde actualmente más conciencia y más posibilidades existen para estudiar cómo conservar el medio ambiente. Cubiertas las necesidades básicas y superados los principales problemas de alimentación e inseguridad ciudadana, nos centramos en el Medio Ambiente. La contaminación de las aguas o la atmosférica son las que tienen un impacto "más vistoso" sobre los seres vivos, y multitud de leyes, decretos y normas se han desarrollado con el ánimo de paliar los impactos generados por este tipo de contaminación de manera equilibrada con las preferencias y necesidades del

ser humano. Pero otro tipo de contaminaciones como la lumínica o la acústica han quedado relegadas a un segundo plano y en cierto modo, en el olvido. Hoy en día, el ruido constituye uno de los factores más dañinos de la calidad, confortabilidad, y salud de nuestro entorno vital, y a pesar de que la contaminación acústica se remonta a tiempos muy lejanos, ha recibido poca atención hasta hace muy poco tiempo siendo mucho menos conocida y por lo tanto más difícil de controlar.

El desarrollo urbanístico e industrial, la extracción de los recursos naturales, las redes de transporte etc. conllevan un incremento del ruido antropogénico en todo el mundo, afectando, tanto al ser humano como a las especies terrestres y marinas. De hecho, los seres humanos han cambiado radicalmente el mundo sonoro con señales marcadamente diferentes en su tono y amplitud de la mayoría de los sonidos producidos en los hábitats naturales [1].

Los entornos rurales pueden llegar a ser lugares de unas características sonoras realmente especiales, en donde la baja actividad humana genera un predominio de las fuentes sonoras de origen natural en el paisaje sonoro. Existen trabajos que buscan una correlación entre parámetros físicos y la evaluación de los paisajes sonoros debido a que la evaluación cuantitativa del sonido por sí sola, y aunque se haya convertido en una norma en el estudio del ruido ambiental, no es suficiente a la hora de valorar estos paisajes. Es necesario que primero se propongan algunas figuras semánticas y se correlacionen con parámetros acústicos cuantificables [2], no siendo suficiente un estudio de los parámetros físicos para la caracterización de los sonidos ambientales [3]. Es primordial comprender los factores que influyen en la percepción del paisaje sonoro, conocer no sólo cuán intenso es el nivel sonoro existente, sino también cuál es la fuente sonora que lo origina [4].

Evitando la degradación del paisaje acústico de las áreas rurales y naturales potenciamos el bienestar de sus comunidades y de sus habitantes. La necesidad de concienciarse de la importancia de la conservación de estas áreas tranquilas o elevada calidad acústica como recurso medioambiental es cada vez mayor y hasta que no se reconozca este hecho las áreas aún existentes irán desapareciendo. En aras de fomentar la conservación de estos paisajes y controlar el impacto de las actividades antropogénicas, es primordial aunar esfuerzos para crear una base metodológica coherente, sólida y apoyada en medidas legislativas que facilite su caracterización y proporcione herramientas para su gestión sostenible.

Se plantea el presente estudio, donde, a partir de los datos de campo recogidos en un trabajo previo [5] se trata de establecer una relación entre variables cuantitativas y cualitativas que representen las fuentes sonoras que definen el paisaje acústico de una zona rural en Lánara, municipio de Lugo en Galicia, España.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Clasificación de los Espacios Sonoros

La Ley 37/2003 del Ruido establece la necesidad de estructurar el territorio en “áreas acústicas” entendiéndose por tales, aquellas zonas del territorio que comparten idénticos objetivos de calidad acústica. La legislación actual clasifica estas áreas acústicas en función del uso predominante del suelo. En las zonas naturales o rurales, atribuir un determinado entorno acústico, o, fijar unos objetivos de calidad acústica en función del uso del suelo es un “sinsentido”. Lo propio, para poder determinar su calidad acústica y establecer pautas para su conservación, es clasificar las áreas en base a criterios cualitativos y cuantitativos en función de la naturaleza de las fuentes de ruido dominantes. Ésta es una tarea ardua.

En este estudio, se analizan los datos recogidos en campo en un trabajo realizado previamente [5], en el que se registró el nivel sonoro en 31 puntos de muestreo en un área rural de unas 720 ha, ubicada en el cuadrante Oeste del término municipal de Lánara, Lugo, Galicia (España).

Tratamos de clasificar los espacios sonoros de esta área en función del tipo de fuente sonora dominante. Para lo cual, se ha realizado un proceso en dos etapas: la primera de ellas en la zona y momento al tomar las muestras de campo, basándonos en lo escuchado durante la toma de datos; y la segunda, en su mayor parte ratificación, en laboratorio al volver a escuchar las grabaciones sonoras registradas en campo.

Tal y como se refleja en la siguiente tabla, se han agrupado los puntos de medición en 4 grupos:

I. El primer grupo en el que se han registrado un total de 11 muestras se han identificado ruidos asociados a *fuentes antropogénicas* que permiten, por su importancia, clasificar dicha zona.

II. Un segundo grupo, formado por un total de 12 puntos de muestreo, sería el que se ha clasificado como *naturaleza + fuentes antropogénicas*. En este grupo, las fuentes antropogénicas representadas también en el grupo anterior, ejercen una influencia similar en el espacio sonoro a las de origen natural.

III. El tercer grupo está formado por 4 muestras, clasificado como *naturaleza: río + fuentes antropogénicas*, se trata de la combinación de las fuentes de origen antrópico y una fuente natural con niveles sonoros constantes y elevados, el río.

IV. El último grupo también formado por 4 muestras, *naturaleza*, se asocia con la presencia exclusiva de ruido procedente de los cursos fluviales o de elementos de la naturaleza.

Los datos numéricos obtenidos para los diferentes indicadores (niveles percentiles), también nos permiten caracterizar estas áreas de forma matemática.

El interés se centra en establecer un modelo matemático que permita comprobar de manera estadística la correspondencia entre la clasificación cualitativa por observación y la estadística obtenida de las relaciones entre los valores de los indicadores de cada grupo.

En la siguiente tabla se muestra la clasificación de los puntos de muestreo en esos 4 grupos y los valores de los niveles sonoros equivalente y percentiles obtenidos en cada punto:

	PUNTO	L _{eq} (dBA)	L ₉₀ (dBA)	L ₅₀ (dBA)	L ₁₀ (dBA)	FUENTES EMISORAS
FUENTES ANTROPOGÉNICAS	4	57,9	44,9	50,1	62,6	Tráfico rodado ;Gente
	6	50,6	41,3	45,6	52,9	Asentamiento rural: perros
	8	64,0	31,2	35,5	59,3	Tráfico rodado
	14	53,1	40,1	43,7	48,9	Cantera; Asentamiento rural: perros, gente
	15	46,6	39,2	42,5	48,5	Cantera; Tráfico rodado; Asentamiento rural: perros, gente; Naturaleza
	17	39,1	36,3	38,2	41,0	Cantera; Asentamiento rural: perros, gallos
	18	33,3	30,8	32,6	35,0	Cantera
	19	47,9	44,7	47,6	49,3	Cantera
	27	42,5	34,8	39,5	44,4	Naturaleza:pájaros; Trabajos agrícolas; Ferrocarril; Asentamiento rural: gallos, perros
	28	45,6	38,3	42,1	49,2	Asentamiento rural:perros; Tráfico rodado; Obras AVE
	29	45,9	32,5	37,4	46,9	Asentamiento rural: perros, tractor agrícola, gente, gallos; Tráfico rodado
NATURALEZA + FUENTES ANTROPOGÉNICAS	10	39,0	33,8	36,6	40,6	Naturaleza; Tráfico rodado y ferroviario
	11	44,1	40,1	41,3	44,7	Trabajos forestales; Naturaleza: pájaros, río
	12	39,6	35,1	38,6	42,1	Naturaleza; Tráfico rodado y ferroviario
	13	35,2	29,8	32,1	38,9	Naturaleza: pájaros; Trabajos forestales
	16	27,1	24,5	25,7	28,4	Naturaleza: pájaros; Cantera; Ferrocarril
	20	33,7	29,2	32,4	36,4	Naturaleza; Tráfico rodado
	21	32,5	29,1	31,2	34,7	Naturaleza; Tráfico rodado y ferroviario
	24	31,6	27,7	29,1	32,1	Naturaleza; Tráfico rodado y ferroviario
	25	39,6	30,2	33,1	43,4	Naturaleza; Tráfico rodado y ferroviario
	26	35,1	30,8	33,0	36,8	Naturaleza; Tráfico rodado y ferroviario
	30	44,9	41,2	43,0	47,2	Naturaleza; Obras AVE
31	38,9	36,5	37,9	40,7	Naturaleza; Obras AVE; Tráfico rodado	
NATURALEZA: RÍO + FUENTES ANTROPOGÉNICAS	1	55,5	54,3	55,3	56,3	Obras AVE; Naturaleza:río
	2	52,2	48,9	50,7	54,2	Obras AVE; Naturaleza:río
	7	45,8	44,9	45,6	46,6	Naturaleza:río; Trabajos forestales
	9	48,0	46,8	47,4	49,0	Naturaleza:río; Trabajos forestales
NATURALEZA	3	44,8	44,0	44,6	45,5	Naturaleza:río
	5	55,8	54,9	55,8	56,3	Naturaleza:río
	22	35,0	30,3	33,1	36,1	Naturaleza
	23	34,9	30,8	33,1	36,5	Naturaleza

Tabla 1. Clasificación cualitativa. Valores medios de los percentiles y fuentes emisoras dominantes por punto de muestreo.

2.2. Análisis Preliminar de los Datos

Los resultados correspondientes a los cuatro indicadores (o cuatro grupos), muestran diferentes características de los índices sonoros. Se analizan los valores de L_{eq} y de L₉₀ por presentar diferencias notables entre ellos en cada medición y ser representativos de la influencia de los eventos sonoros y del nivel del medio ambiente natural respectivamente. Tratamos, a partir de la relación entre los mismos para los diferentes grupos, obtener un modelo de clasificación.

En la figura siguiente se muestra la representación de los valores de los 31 puntos para los indicadores seleccionados L_{eq} y L₉₀.

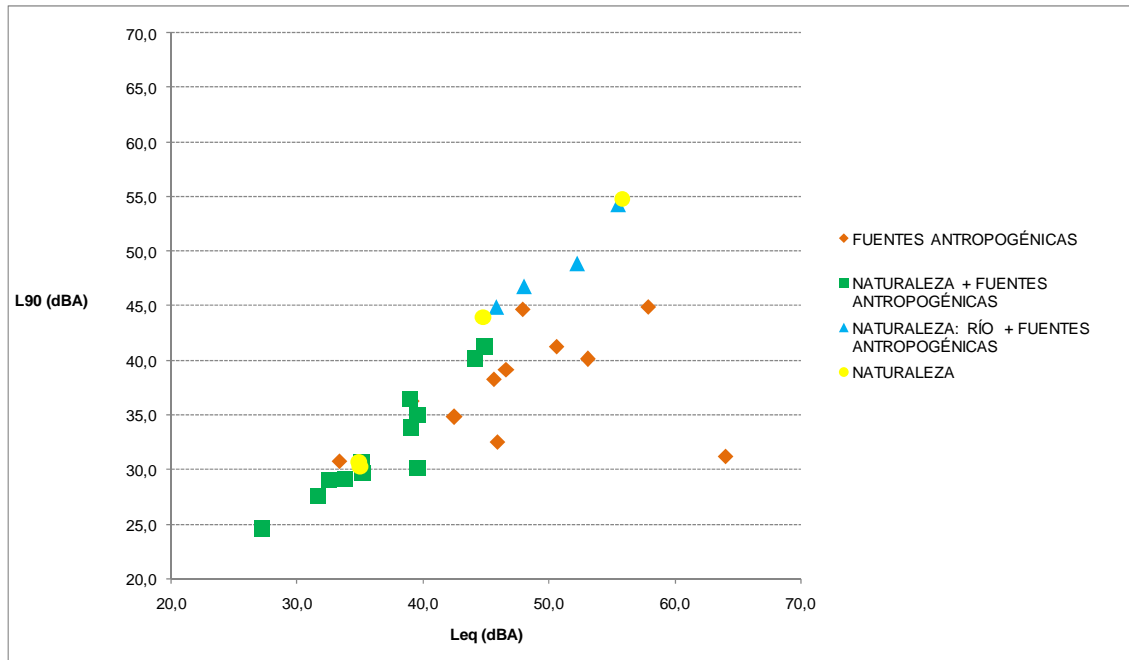


Figura 1. Distribución de las muestras en función de L_{90} y L_{eq}

La gráfica muestra, en primer lugar, que a pesar de presentar una superposición parcial entre las muestras de los valores de ambos indicadores sí parece existir cierta diferencia espacial entre los grupos. Las herramientas estadísticas de clasificación multivariante pueden ayudarnos a analizar la existencia o no de grupos entre las muestras y si estos grupos se corresponden o no con la clasificación cualitativa propuesta.

2.3. Elección del Método Multivariante

Analizando los datos que tenemos, observamos que existe un análisis de dependencia dado que la clasificación cualitativa propuesta (valores de 1 a 4) es dependiente de los datos numéricos de los indicadores (L_{eq}) y (L_{90}). Además, la única variable dependiente es categórica, no métrica. Consecuentemente, una técnica apropiada y por la cual optamos es el *Análisis Discriminante*, comúnmente denominado por sus siglas en inglés DA Discriminant Analysis [6]. Se trata de una técnica estadística multivariante cuya finalidad es analizar si existen diferencias significativas entre grupos de objetos respecto a un conjunto de variables medidas sobre los mismos para, en el caso de que existan, explicar en qué sentido se dan y proporcionar procedimientos de clasificación sistemática de nuevas observaciones de origen desconocido en uno de los grupos analizados.

Dada la dificultad para la obtención de los datos, se ha optado por introducirlos todos en el modelo no dejando la posibilidad de validación posterior con otros datos. Esta decisión es coherente con trabajos de este tipo en los que la obtención de información resulta de extremada complejidad y resulta necesaria para el desarrollo del modelo.

3. RESULTADOS

De manera previa a los estadísticos de clasificación, se ha realizado una ANOVA con estadísticos F para contrastar la hipótesis de igualdad de medias entre los grupos en cada variable independiente obteniendo como resultado un $p_valor < 0,05$ y por lo tanto que los dos grupos (L_{eq} y L_{90}) en media, son diferentes. También se ha realizado la prueba *M de Box* y su transformación en un estadístico F, en donde se contrasta la hipótesis nula de que las matrices de covarianzas son iguales obteniendo también un $Sig = 0,000 < 0,05$, concluyendo que los dos

grupos tienen distinta matriz de varianzas-covarianzas, es decir, que los grupos tienen diferente variabilidad entre sí. Se ha analizado también el estadístico *Lambda de Wilks*, para medir el poder discriminante de las variables de estudio y pudiendo concluir que la variable que más contribuye a la discriminación es el indicador L_{90} . No obstante, no se detalla el procedimiento realizado por ser demasiado extenso para tratar en esta comunicación.

Estudiando los estadísticos de clasificación, en la tabla 2 se muestran las probabilidades a priori de pertenecer a los grupos. Y en la tabla 3, se muestran los coeficientes para la función de clasificación (funciones discriminantes lineales de Fisher, método de cálculo descrito en Figueras [7]).

PUNTO	Previas	Casos utilizados en el análisis	
		No ponderados	Ponderados
1	,355	11	11,000
2	,387	12	12,000
3	,129	4	4,000
4	,129	4	4,000
Total	1,000	31	31,000

Tabla 2. Probabilidades *a priori* de pertenencia a grupos

	PUNTO			
	1	2	3	4
L_{eq} (dBA)	,651	,400	,417	,389
L_{90} (dBA)	,497	,555	,984	,770
(Constante)	-25,974	-17,267	-36,533	-25,753

Tabla 3. Coeficientes de la función de clasificación

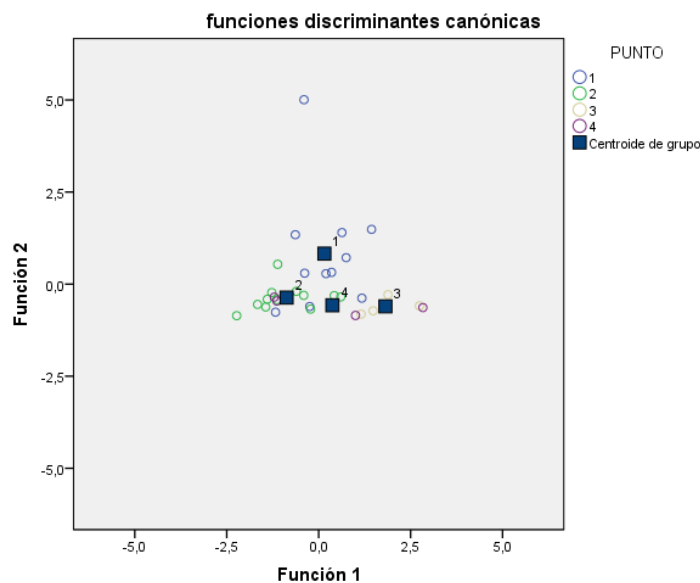
1
2
3
4
5
6

7 Los resultados nos indican que la clasificación para ambos indicadores es:

8
$$L_{90} = 0,497 \cdot Gr1 + 0,555 \cdot Gr2 + 0,984 \cdot Gr3 + 0,770 \cdot Gr4$$

9
$$L_{eq} = 0,651 \cdot Gr1 + 0,400 \cdot Gr2 + 0,417 \cdot Gr3 + 0,389 \cdot Gr4$$

10 Los gráficos siguientes nos muestran la situación de cada uno de los grupos en relación con las
 11 funciones canónicas discriminantes, indicando mediante un cuadrado el centroide de cada
 12 grupo.



13

14

Figura 2. Funciones discriminantes canónicas del conjunto

15 Finalmente, la tabla siguiente muestra los resultados obtenidos en el modelo:

		PUNTO	Grupo de pertenencia pronosticado				Total
			1	2	3	4	
Original	Recuento	1	7	3	1	0	11
		2	2	10	0	0	12
		3	0	0	4	0	4
		4	0	2	1	1	4
	%	1	63,6	27,3	9,1	,0	100,0
		2	16,7	83,3	,0	,0	100,0
		3	,0	,0	100,0	,0	100,0
		4	,0	50,0	25,0	25,0	100,0
Validación cruzada	Recuento	1	7	3	1	0	11
		2	2	10	0	0	12
		3	0	0	3	1	4
		4	0	2	2	0	4
	%	1	63,6	27,3	9,1	,0	100,0
		2	16,7	83,3	,0	,0	100,0
		3	,0	,0	75,0	25,0	100,0
		4	,0	50,0	50,0	,0	100,0

16 Tabla 12. Resultados del modelo

17 Como se observa el modelo clasifica bien el 71% de los casos y cuando es sometido a
 18 validación cruzada (más exigente) sigue manteniendo un porcentaje de datos bien clasificados
 19 próximo al 65%. Estos resultados se pueden considerar como muy buenos cuando se trabaja
 20 con pocos datos y con cuatro posibles grupos. Un análisis detallado muestra como los grupos 3
 21 (100%) y 2 (83,3%) son con los que mejor se comporta en modelo para predecir. En el extremo
 22 opuesto se sitúan los grupos 1 (63,6%) y grupo 4 (25%).

23 Es muy destacable el éxito del modelo para clasificar por encima del 60% en el caso de tres
 24 grupos y el valor bajo del grupo 4 obligaría a la obtención de un mayor número de registros
 25 para mejorar estos resultados.

26 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

27 En este trabajo, se ha utilizado una técnica de clasificación multivariante conocida como
 28 Análisis Discriminante (DA) con la finalidad de analizar si existen diferencias significativas entre
 29 los cuatro grupos de puntos de muestreo diferenciados por la naturaleza de las fuentes sonoras
 30 dominantes respecto a los índices sonoros L_{eq} y L_{90} , con lo cual, podremos afirmar si con los
 31 valores de estos dos índices podemos predecir, y con qué grado de fiabilidad, qué tipo de
 32 fuentes sonoras están actuando en el entorno acústico del punto muestreado.

33 De acuerdo con lo que afirman diversos autores [4], [8], [9], el L_{eq} es un índice muy sensible a
 34 los eventos sonoros, y tal y como se ha podido comprobar en campo, aumenta su valor
 35 rápidamente con cualquier evento que genere un elevado nivel acústico aunque sea de corta
 36 duración, por esto, se asocia más a los sonidos emitidos por las fuentes antropogénicas
 37 siempre y cuando éstas se presenten como eventos sonoros. Sin embargo, el L_{90} se asocia
 38 más con el ruido de fondo, que se considera como el sonido emitido por la naturaleza, de más
 39 bajo nivel acústico, que toma valores más constantes y no se ve tan influenciado por los
 40 eventos sonoros.

41 No existen actualmente muchos estudios que traten de obtener una relación estadística entre
 42 los parámetros que caracterizan la naturaleza de las fuentes sonoras. Algunos autores sí han

43 tratado de clasificar el tipo de fuente existente o de cuantificar de alguna manera la influencia
44 antrópica, bien con el empleo de L_{eq} y L_{90} o proponiendo otros parámetros [9], [10], [11]. En
45 este trabajo se ha demostrado que el método cualitativo de clasificación de espacios sonoros
46 propuesto y validado estadísticamente, permite clasificar con fiabilidad las zonas en función del
47 entorno y las fuentes sonoras. Partiendo de la base de que los índices L_{eq} y L_{90} son los más
48 representativos del sonido antropogénico y natural respectivamente, podemos intuir si el
49 ambiente acústico existente en un lugar está caracterizado por los sonidos emitidos por fuentes
50 de origen antrópico o natural, e incluso, podemos intuir si existen cursos fluviales que influyan
51 en el paisaje sonoro.

52 La clasificación de los espacios sonoros basándonos en la correlación existente entre las
53 variables cualitativas y cuantitativas, otorga una nueva visión a los estudios realizados hasta
54 ahora y abre una puerta para continuar investigando y aplicando las técnicas estadísticas bien
55 como base o bien como complemento para la evaluación de los paisajes sonoros.

56 5. REFERENCIAS

57 [1] Francis, C.; Ortega, C.; Cruz, A. (2009). Noise pollution changes avian communities and
58 species interactions. *Current Biology*. 19(6): 1415-1419.

59 [2] Brown, A.L. (2011). Advancing the concepts of soundscapes and soundscape planning.
60 *Acoustics 2011*. Gold Coast, Australia, 2-4 November. p. 15.

61 [3] Genuit, K. and Fiebig, A. (2006). Psychoacoustics and its benefit for the soundscape
62 approach. *Acta Acustica United with Acustica*. 92(6): 952-958.

63 [4] Barrigón, J.M.; Montes, D.; Merchán, A.; Atanasio, P.; Gómez, V.; Vílchez-Gómez, R.;
64 Méndez, J.A.; Rey, G.; Prieto, C.; Maderuelo, R.; Martín, M.; Trujillo, J.; Carmona, J. (2013).
65 Caracterización del paisaje sonoro rural. Alcántara, un pueblo de la Raya Extremeña.
66 *Tecnia Acústica 2013*, Valladolid, España, 2-4 octubre.

67 [5] López, L. (2011). Planificación acústica. Estudio y conservación del paisaje sonoro en un
68 contexto rural. Tesis de Máster. Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza.

69 [6] Peña Sánchez de Rivera, D. (2002). Análisis de datos multivariantes. McGraw-Hill. New
70 York.

71 [7] Figueras, S.M. (2000). Análisis Discriminante. 5campus.com, Estadística (09-2014).
72 Disponible en: <http://www.5campus.com/leccion/discr>

73 [8] Botteldooren, D; Decloedt, S.; Bruyneel, J.; Pottie, S. (1999). Characterisation of quiet areas:
74 subjective evaluation and sound levels indices. *Forum Acusticum 1999*, Berlin, Germany, 15-19
75 March.

76 [9] Carvalho, A. and Pereira, M. (2013). Ruído no Parque Nacional da Peneda-Gerês, Portugal.
77 *Tecnia Acústica 2013*, Valladolid, España, 2-4 octubre.

78 [10] Feijoó, S. (2008). Clima sonoro en espacios naturales. VI Congreso Iberoamericano de
79 acústica - FIA 2008. Buenos Aires, Argentina.

80 [11] Feijoó, S. (2008). Niveles sonoros en un municipio rural. VI Congreso Iberoamericano de
81 acústica - FIA 2008. Buenos Aires, Argentina.