



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

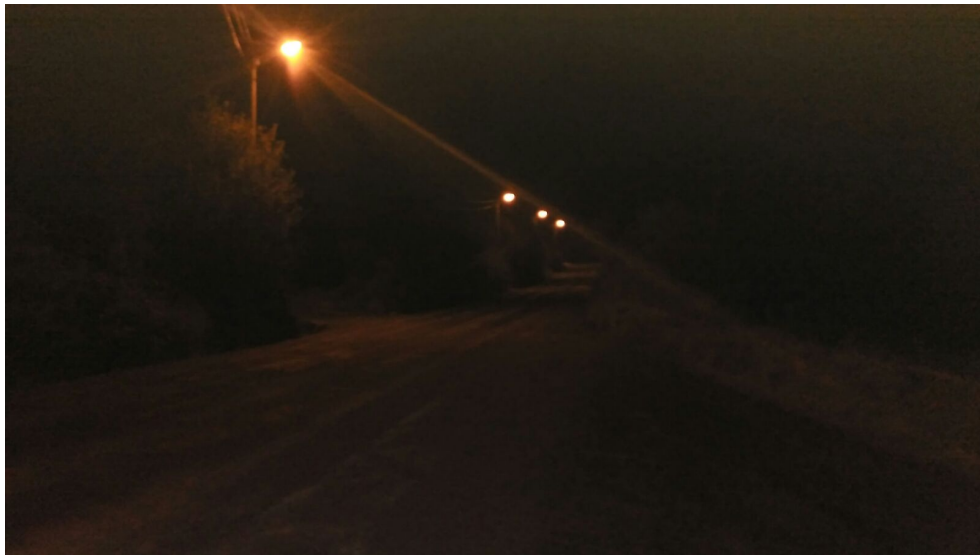
Grao en Bioloxía

Memoria do Traballo de Fin de Grao

ALUMADO PÚBLICO E INVERTEBRADOS TERRESTRES: EFECTOS DA CONTAMINACIÓN LUMINOSA SOBRE A COMPOSICIÓN DAS COMUNIDADES

ALUMBRADO PÚBLICO E INVERTEBRADOS TERRESTRES: EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN LUMINOSA SOBRE LA COMPOSICIÓN DE LAS COMUNIDADES

STREET LIGHTING AND TERRESTRIAL INVERTEBRATES: EFFECTS OF LIGHT POLLUTION ON COMMUNITY COMPOSITION



ALBA MAGARIÑOS ARES

Setembro, 2017

Titora Académica: Lucía Couceiro López

Imaxe da portada: fotografía nocturna no lugar do estudo (A Illa, Santa Comba) realizada o día 9 de setembro de 2017.



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Dna. Lucía Couceiro López autoriza a presentación do Traballo de Fin de Grao “Alumado público e invertebrados terrestres: efectos da contaminación luminosa sobre a composición da comunidades” presentado por Alba Magariños Ares para a súa defensa ante o tribunal cualificador.

A Coruña, a 12 de setembro de 2017

Asdo. Lucía Couceiro

ÍNDICE

Resumo/Resumen/Abstract	5
Introdución	6
Material e Métodos	
<i>Área de estudo, deseño experimental e recollida das mostras</i>	10
<i>Identificación das mostras e análise estadística dos datos</i>	12
Resultados	12
Discusión	18
Conclusións/ Conclusiones/ Conclusions	20
Agradecementos	20
Bibliografía	21
Anexo I: Conformidade do alumno e compromiso de confidencialidade	24
Anexo II: Principais caracteres morfolóxicos e ecolóxicos dos grupos taxonómicos representados no conxunto de datos.	25

RESUMO

O notable desenvolvemento urbano e suburbano experimentado nas últimas décadas trouxo consigo un incremento sen precedentes dos niveis de luz artificial nocturna. Esta contaminación luminosa presenta múltiples efectos negativos sobre unha ampla variedade de seres vivos. Co fin de dilucidar se a iluminación artificial nocturna afecta á identidade e abundancia relativa das especies que integran a comunidade de macroinvertebrados do solo, no presente estudo colocáronse dez trampas pitfall ao longo dunha estrada secundaria iluminada por lámpadas de sodio. Paradoxicamente, non foi posible establecer a existencia de diferenzas significativas na abundancia de macroinvertebrados terrestres entre trampas ubicadas directamente debaixo das luminarias e trampas situadas entre as mesmas. Ademais, a ausencia de diferenzas significativas tamén se constatou no caso da identidade dos grupos observados en ámbalas dúas situacións, tanto no relativo a súa taxonomía coma no referente a súa posición trófica. A análise da literatura suxire que os baixos niveis de iluminancia experimentados na superficie do solo, así como o estreito espectro de emisión das lámpadas de vapor de sodio, poderían explicar os resultados observados.

RESUMEN

El notable desarrollo urbano y suburbano experimentado en las últimas décadas ha ocasionado un incremento sin precedentes de los niveles de luz artificial nocturna. Esta contaminación lumínica presenta múltiples efectos negativos sobre una amplia variedad de seres vivos. Con el fin de determinar si la iluminación artificial nocturna afecta a la identidad y abundancia relativa de las especies que integran la comunidad de macroinvertebrados del suelo, en el presente estudio se colocaron diez trampas pitfall a lo largo de una carretera secundaria iluminada por lámparas de sodio. Paradójicamente, no fue posible establecer la existencia de diferencias significativas en la abundancia de macroinvertebrados terrestres entre trampas ubicadas directamente debajo de las luminarias y trampas situadas entre las mismas. Además, la ausencia de diferencias significativas también se constató en el caso de la identidad de los grupos observados en ambas situaciones, tanto en lo relativo a su taxonomía como en lo referente a su posición trófica. El análisis de la literatura sugiere que los bajos niveles de iluminancia experimentados en la superficie del suelo, así como el estrecho espectro de emisión de las lámparas de vapor de sodio, podrían explicar los resultados observados.

ABSTRACT

The prominent urban and suburban development experienced in the last decades has caused an unprecedented increase of artificial lighting at night. This light pollution exhibits several negative effects on a variety of organisms. With the aim of determining if artificial lighting at night affects the identity and the relative abundance of the species that integrate the community of soil macroinvertebrates, in the present study ten pitfall traps were placed along a minor road illuminated with sodium lamps. Paradoxically, it was not possible to establish significant differences on the abundance of terrestrial macroinvertebrates between traps located directly under street lights and traps located between them. Also, the absence of significant differences was confirmed in the case of the identity of the observed groups in both situations, either in terms of taxonomy and trophic position. The analysis of the literature suggests that the low levels of illuminance experienced on the soil surface, as well as the narrow emission spectrum of the sodium lamps, could explain the observed results.

KEY-WORDS: anthropogenic pressures, artificial lighting at night, community composition, light pollution, macroinvertebrates, soil fauna, street lighting, trophic interactions.

INTRODUCCIÓN

O termo “contaminación luminosa” fai referencia á introdución de luz artificial no ceo nocturno e, en consecuencia, á alteración dos niveis naturais de luz (Cinzano et al. 2000). As primeiras voces de alarma chamando a atención acerca deste fenómeno xorden durante a década dos 70s do século pasado dende os observatorios astronómicos ao constatar como a súa capacidade de observación se vai reducindo progresivamente (Riegel 1973). De feito, se ben os niveis de luz artificial nocturna unicamente supoñen ao principio certo menoscabo na calidade das súas observacións, en cuestión de poucos anos convértense nunha ameaza real para a viabilidade de numerosas instalacións. Ademais, pronto resulta evidente que as consecuencias da contaminación luminosa non se limitan á degradación do ceo nocturno e a calidade das nosas observacións sobre as estrelas e demais astros celestes. Ao longo da década de 1970 comezan a rexistrarse tamén efectos non desexados nunha ampla variedade de organismos, dende mortalidades masivas de numerosas especies a causa da atracción fatal que exercen sobre elas os focos de luz artificial (e.g. referencia) até efectos máis sutís sobre o comportamento e a fisioloxía dos individuos expostos (e.g. referencia). Máis recentemente, un número considerable de estudos demostra que as consecuencias da contaminación luminosa van máis aló do nivel individuo e poden alterar de xeito notable as interaccións intra- e interespecíficas e, en consecuencia, as comunidades biolóxicas (e.g. referencia). A magnitude do problema resulta evidente se temos en conta que a práctica totalidade dos seres vivos que habitan actualmente o planeta evolucionaron baixo o ciclo regular do día e a noite (Gaston et al. 2013); ademais, aproximadamente un 30% das especies de vertebrados e máis do 60% das especies de invertebrados son nocturnas (Hölker et al. 2010a). Con todo, o termo contaminación luminosa segue a relacionarse de maneira tradicional coa degradación do ceo nocturno e a experiencia humana da noite, motivo polo cal certos autores recomentan distinguir entre “contaminación luminosa astronómica” para referirse á luz artificial nocturna que impide e/ou dificulta a visión das estrelas e outros corpos celestes e “contaminación luminosa ecolóxica” para referirse á luz artificial nocturna que altera os réximes naturais de luz e escuridade nos ecosistemas terrestres e acuáticos (Longcore & Rich 2004).

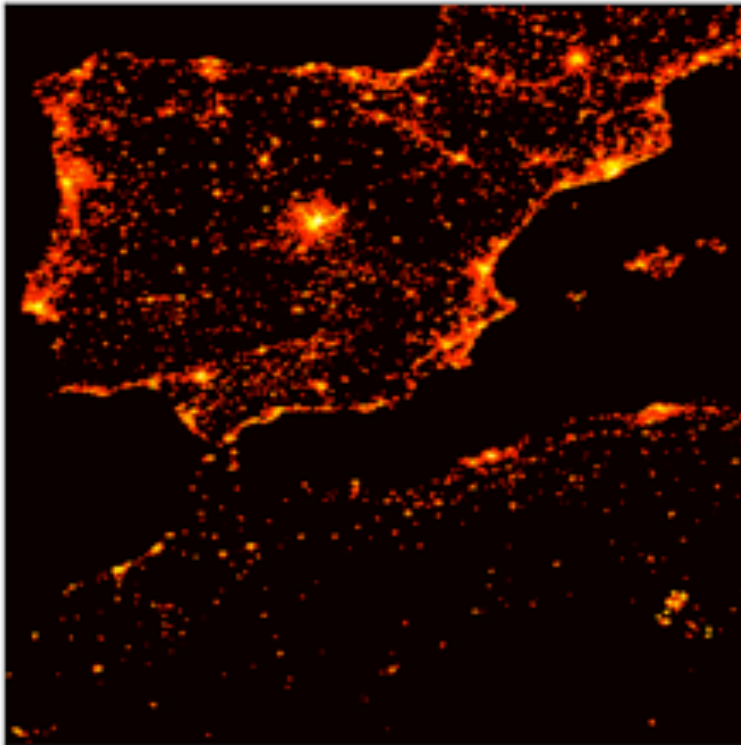
A contaminación luminosa é unha das formas máis xeneralizadas de alteración ambiental. De feito, dado que a luz artificial nocturna pode ser observada a centos de kilómetros do seu foco de orixe, a contaminación luminosa pode incluso afectar lugares prístinos como parques naturais ou áreas mariñas protexidas (Falchi et al. 2016). Os datos recollidos no último atlas mundial de contaminación luminosa reflexan claramente o alcance global do problema: máis do 80% da poboación mundial e máis do 99% da poboación norteamericana e europea viven baixo ceos afectados por contaminación luminosa; ademais, a Vía Láctea resulta invisible para un terzo da humanidade incluíndo aproximadamente o 60% dos europeos e practicamente o 80% dos norteamericanos (Falchi et al. 2016).

O alcance do problema que supón a iluminación artificial nocturna resulta igualmente patente cando consideramos o factor temporal pois trátase dunha das perturbacións antrópicas con maior crecemento anual. Por exemplo, a análise das emisións luminosas en Norteamérica ao longo da segunda metade do século pasado amosa un incremento anual de aproximadamente o 6% (Cinzano 2003). É máis, estudos sobre áreas xeográficas menos extensas así como períodos temporais máis curtos suxiren que a anterior cifra constitúe probablemente unha estima conservadora, elevando dito crecemento anual até o 10% (e.g. Cinzano 2000).

No que respecta ao noso país, o estudo das imaxes nocturnas proporcionadas polo sistema de satélites do Departamento de Defensa dos Estados Unidos (i.e. DMSP-OLS Nighttime Lights Time Series; Figura 1) amosa que o consumo eléctrico destinado ao alumado público duplicou o seu

valor na maioría das provincias españolas entre os anos 1992 e 2010; ademáis, se ben as rexións máis intensamente poboadas semellan ter iniciado unha estabilización do seu consumo ao final do período estudado, isto non parece acontecer nas áreas con menor densidade de poboación (Sánchez de Miguel et al. 2014)

(a)



(b)

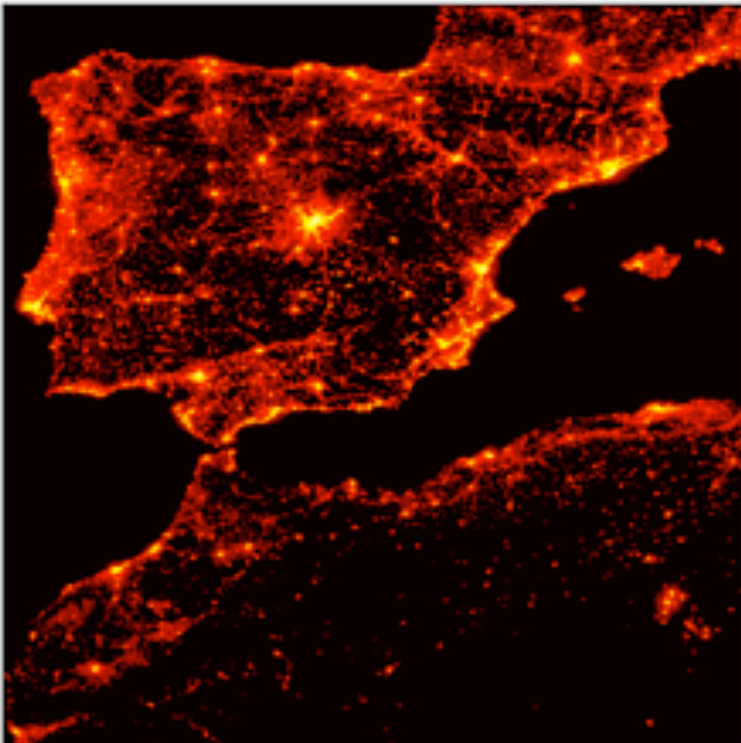


Figura 1. Aumento dos niveis de contaminación luminosa na Península Ibérica. Imaxes nocturnas DMSP-OLS tomadas nos anos 1996 (a) e 2006 (b).

A crecente conciencia acerca dos problemas orixinados polo exceso de iluminación artificial nocturna ocasionou a implementación de diversas medidas a nivel local, rexional ou mesmo nacional en distintos países (Hölker et al. 2010b). De feito, a primeira “lei do ceo” é xa aprobada no ano 1988 nas Illas Canarias co obxectivo de protexer os observatorios astronómicos do arquipélago, un exemplo que seguiron nos anos posteriores destacados observatorios de todo o planeta. Non será non obstante até unha década despois que xorden iniciativas semellantes en áreas xeográficas non relacionadas coas actividades astronómicas. Ademais das anteriores medidas legislativas, cabe destacar que dende o ano 2001 a Asociación Internacional para o Ceo Escuro (International Dark-Sky Association, IDA) mantén o programa International Dark Sky Places cuxo obxectivo é recoñecer e promocionar aqueles lugares que gozan dun ceo nocturno de calidade (www.darksky.org). En España o único lugar recoñecido como Dark Sky Place é o parque Albanyá en Girona (Figura 2).



Figura 2: Parque Albanyá (Girona), único lugar do noso país que goza do recoñecemento *Dark Sky Place* outorgado pola Asociación Internacional para o Ceo Escuro. Fonte: <https://www.sortirambnens.com>

Como foi mencionado anteriormente, a contaminación luminosa ecolóxica pode presentar importantes e diversas consecuencias sobre os sistemas biolóxicos. Atendendo a se a luz é utilizada polos organismos como un recurso ou como unha fonte de información, os efectos da iluminación artificial nocturna sobre os seres vivos poden dividirse en dúas grandes categorías (Gaston et al. 2013):

- A luz como recurso. A luz e a escuridade poden actuar como un recurso en numerosos organismos. Un exemplo obvio é a adquisición de enerxía por parte dos organismos autótrofos a través da fotosíntese pero moitos procesos fisiolóxicos e comportamentais tamén requiren da luz ou da escuridade para operar correctamente.

Pese a que as emisións de luz artificial exhiben un rango de lonxitudes de onda moi semellante ao absorbido polos pigmentos fotosintéticos dos organismos autótrofos, parece pouco probable que ditas emisións presenten efectos ecoloxicamente relevantes. Así, se ben en teoría o sky glow urbano podería ser suficiente como para desencadear unha pequena resposta fotosintética, un efecto medible sobre a fixación do carbono está na práctica limitado

a situacións onde as follas se sitúan moi preto da fonte de luz ou cando esta é introducida en sistemas naturalmente escuros como son as covas (Bennie et al. 2016).

A diferenza do que ocorre coa fotosíntese, as consecuencias da contaminación luminosa son claramente patentes no caso daquelas especies que adoptan un nicho temporal co cal complementar o seu nicho espacial. Por exemplo, está amplamente demostrado que diversas especies diúrnas son capaces de explotar o nicho nocturno baixo condicións de contaminación luminosa, actuando así como especies nocturnas facultativas en ambientes urbanos (e.g. arañas: Frank 2009; reptiles: Perry & Fisher 2006; aves: Santos et al. 2010). De igual modo, existen numerosos exemplos dun incremento nas actividades de forraxeo de distintas especies insectívoras ao carón de fontes de luz artificial; de feito, en certas especies de morcegos, a busca de alimento en torno a ditas instalacións é hoxe en día a norma (Jung & Kalko 2010).

Finalmente, posto que os períodos continuos de escuridade semellan ser críticos para certos procesos que controlan a reparación e recuperación da función fisiolóxica en numerosas especies, a escuridade é considerada igualmente como un recurso en ditos organismos e a falta da mesma pode orixinar severos problemas. Por exemplo, Futsaether et al. (2009) demostraron que a exposición a iluminación artificial nocturna constante claramente incrementaba os danos foliares producidos polo ozono en tres especies de trevo.

- A luz como fonte de información. A dirección, duración e características espectrais da luz natural son amplamente empregadas polos organismos como fonte de información acerca da súa ubicación, o momento do día e do ano, e as características do seu ambiente. A contaminación luminosa pode sen embargo perturbar este fluxo de información e proporcionar sinais enganosas.

En primeiro lugar, a luz artificial pode influír os patróns circadianos de comportamento de numerosas especies. Algúns dos exemplos máis amplamente coñecidos de dita influencia inclúen aves que comezan a cantar máis cedo polas mañás con severas consecuencias sobre o seu éxito reprodutivo (Kempnaers et al. 2010) ou árbores caducifolias que manteñen as súas follas até ben entrado o outono incrementando o risco de ser danadas polas xeadas (Briggs 2006).

A luz artificial tamén pode perturbar os movementos daquelas especies que empregan a luz como sinal nos seus desprazamentos. Exemplos de tales perturbacións foron documentados nun amplo abano de grupos taxonómicos: aveláñas (e.g. Altermatt & Ebert 2016), vagalumes (e.g. Lloyd 2006) e outros insectos (e.g. Eisenbeis 2006); anfibios (e.g. Baker 1990, Baker & Richardson 2006, Buchanan 2006), réptiles (e.g. Salmon 2003, Tuxbury & Salmon 2005), aves (e.g. Wiese et al. 2001, Gehring et al. 2009), e mamíferos (e.g. Beier 2006) entre outros.

Pese a que resulta altamente probable que as anteriores consecuencias acaben por afectar os patróns de abundancia e distribución das especies, a estrutura das comunidades biolóxicas e o funcionamento dos ecosistemas, os estudos relativos os efectos da contaminación luminosa en niveis de organización biolóxica superiores son aínda escasos. Teoricamente, a iluminación artificial nocturna pode impactar nos ecosistemas a través de efectos tróficos top-down, efectos tróficos bottom-up, ou interaccións non tróficas entre especies (Bennie et al. 2015). Os efectos tróficos do tipo top-down teñen lugar cando a agregación, crecemento poboacional ou maior eficiencia no forraxeo dos consumidores ocasionan unha maior explotación dos recursos e, en consecuencia, efectos en cascada nos niveis tróficos inferiores. Por exemplo, nun estudo de campo levado a cabo na rexión de Cornualles, Reino Unido, Davies et al. (2012) observaron que a comunidade de invertebrados do solo en áreas afectadas polo alumado público amosaba unha composición netamente distinta á exhibida polas áreas non afectadas e, en concreto, un

incremento no número de predadores e carroñeiros que, á súa vez, podería repercutir nos niveis tróficos inferiores. Polo contrario, os efectos tróficos do tipo bottom-up ocorren cando os cambios na fisioloxía, abundancia ou composición dos produtores primarios alteran a provisión de recursos dos niveis tróficos superiores. Por exemplo, nun estudo experimental en mesocosmos, Bennie et al. (2015) demostraron que niveis de luz artificial nocturna típicos de ambientes urbanos podían presentar consecuencias directas sobre o patrón de crecemento e esforzo reprodutivo das especies vexetais, factores que á súa vez podían afectar indirectamente a densidade de herbívoros. De igual modo, combinando experimentos de campo e laboratorio, Hölker et al. (2015) constataron un incremento de especies fotoautótrofas na comunidade microbiana dos sedimentos dunha acequia afectados por iluminación artificial nocturna, modificacións que podían alterar funcións ao nivel do ecosistema tales como a mineralización do carbono.

Ao igual que os estudos mencionados no anterior parágrafo, o presente traballo ten por obxectivo principal determinar se as consecuencias da contaminación luminosa se estenden máis aló do nivel individuo. En concreto, preténdese dilucidar se a iluminación artificial nocturna afecta a identidade e abundancia relativa das especies que integran a comunidade de macroinvertebrados do solo e se ditas modificacións responden a unha alteración das interaccións entre especies debido a mecanismos tróficos top-down, mecanismos tróficos bottom-up ou mecanismos doutra natureza. A fauna edáfica xoga un papel fundamental no reciclado de nutrientes e na descomposición da materia orgánica e, consecuentemente, é un elemento clave en calquer ecosistema terrestre (Stork & Eggleton 1992); ademáis, estímase que estas comunidades albergan unha fracción importante da biodiversidade do planeta (André et al. 1994). Os ecosistemas edáficos conteñen polo xeral un gran variedade de animais: nematodos, microartrópodos como ácaros e colémbolos, quilópodos, enquitreidos e miñocas entre outros. Un número importante de membros da mesofauna e macrofauna, principalmente artrópodos como coleópteros, arañas, diplópodos, quilópodos e pseudoescorpións así como moluscos gasterópodos, viven tamén nas capas máis superficiais, na capa de follas e outros detritos en descomposición e na propia superficie do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo, deseño experimental e recollida das mostras

Co obxectivo de establecer o efecto da iluminación artificial nocturna sobre a comunidade de macroinvertebrados do solo, un total de dez trampas pitfall foron colocadas durante tres días e tres noites ao longo dun transecto de 225 m na localidade de Santa Comba, A Coruña, España (43°02'18"N, 8°48'51"O) (Figura 3). O mencionado transecto presentaba cinco luminarias pertencentes ao alumado público municipal, separadas entre sí por unha distancia de aproximadamente 50 m, de maneira que cinco trampas se situaron directamente debaixo das luminarias namentres que as outras cinco foron colocadas a medio camiño entre as mesmas (Figura 3).

Ademáis, a recollida das mostras seguiu un deseño cruzado de dous factores co propósito de poder comparar as comunidades de macroinvertebrados diúrnas e nocturnas (factor "*daytime*") debaixo e entre luminarias (factor "*light conditions*") e, en consecuencia, poder testar se a proximidade de fontes de luz artificial afectaba á composición das comunidades e non simplemente á distribución das especies durante a noite. Así pois, co fin de poder enumerar e identificar os compoñentes diúrnos e nocturnos de cada trampa separadamente, o contido das dez trampas foi recollido cada día 40 minutos antes do amencer e 40 minutos antes do anoitecer (Figura 4), obténdose ao cabo dos tres días de mostraxe un total de 20 mostras.



Figura 3. Vista aérea da área de estudo amosando a ubicación aproximada das trampas situadas debaixo das luminarias (círculos pechados) así como as trampas situadas entre estas (círculos abertos).

25.11.2016		26.11.2016		27.11.2016		28.11.2016	
XXXX	08:00-18:00	18:00-08:00	08:00-18:00	18:00-08:00	08:00-18:00	18:00-08:00	XXXX

Figura 4. Diagrama amosando os seis períodos de recollida das mostras ao longo dos tres días e tres noites durante os cales se levou a cabo o estudo.

As datas durante as cales se colocaron as trampas foron escollidas de maneira que a duración dos períodos de captura diúrnos e nocturnos fose o máis semellante posible ao tempo que se evitaban as fases de lúa chea. Concretamente, a recollida das mostras tivo lugar entre os días 25 e 28 de novembro de 2016, datas onde o número de horas de luz e escuridade seguiu unha relación 10:14 e a lúa se atopaba en fase minguante, oscilando a súa superficie iluminada entre un 17% a noite do día 25 e un 6% a noite do día 27 (<http://www.meteogalicia.gal>). Por outra banda, as condicións meteorolóxicas dominantes ao longo dos tres días foron as típicas desta época do ano con ceos cubertos, chuvascos débiles e temperaturas medias inferiores aos 10 °C. Cabe destacar igualmente que as condicións bióticas e abióticas ao longo dos 225 m do transecto eran

relativamente homoxéneas, estando integrada a vexetación que o cubría principalmente por gramíneas, rosáceas (*Rubus* sp.) e fentos. Ademais preto do transecto atopouse unha zona de distintos tipos de árbores leñosas (carballo, pinos e eucaliptos) separada da zona de estudo uns 5 metros por unha estrada.

Identificación das mostras e análise estadística dos datos

As 20 mostras foron claramente etiquetadas e preservadas utilizando EtOH 70% e, tras contabilizar o número de individuos capturados en cada unha delas, procedeuse a determinar a identidade taxonómica dos mesmos utilizando un microscopio estereoscópico e claves especializadas (claves xerais: Chinery (1997) & Tilling (1987), claves especializadas en Arácnidos: Bellmann (2011) & Jones (1985), claves especializadas en Coleópteros: Zahrandník(1990)). Os individuos foron identificados ao nivel de Familia exceptuando os membros de certos grupos taxonómicos complexos e diversos onde a identificación non foi posible máis aló do nivel subclase (Subclase Acari), orde (Orde Chordeumatida, Orde Isopoda) ou superfamilia (Superfamilia Entomobryoidea); a identificación tamén debeu limitarse ao nivel de orde no caso das larvas de insectos (Ordes Diptera, Coleoptera e Lepidoptera).

Tras comprobar que os datos seguían unha distribución normal e presentaban varianzas homoxéneas, as diferencias na abundancia de invertebrados (considerando como tal o número total de individuos capturados en cada trampa ao longo dos tres días de mostraxe) entre zonas situadas baixo luminarias e zonas situadas entre luminarias foron testadas usando unha análise da varianza de dous factores (ANOVA). Unha interacción non significativa entre ámbolos dous factores (i.e. *daytime* e *light conditions*) denotaría que calquer diferenza potencial entre as trampas situadas baixo as luminarias e as trampas situadas entre luminarias se mantiña entre o día e a noite, reflectindo en consecuencia unha alteración da comunidade; polo contrario, unha interacción significativa indicaría que ditas diferencias flutuaban entre o día e a noite e, en consecuencia, estaban ocasionadas polo movemento dos individuos entre ámbolos dous nichos temporais mais non por unha alteración da comunidade. O anterior procedemento foi repetido coa finalidade de investigar a existencia de diferencias na abundancia dos tres taxa dominantes. Finalmente, tódolos individuos capturados foron asignados a un dos cinco grupos tróficos principais (i.e. herbívoros, predadores, carroñeiros, detritívoros e parasitos) e, novamente, unha serie de ANOVA 2 x 2 independentes foron levados a cabo co fin de investigar a presenza de diferenzas significativas na abundancia dos distintos grupos tróficos atendendo á proximidade de fontes de luz artificial. Tódalas probas estadísticas foron realizadas empregando o programa R na súa versión 3.4.1 e o paquete R Commander (<http://www.R-project.org>).

RESULTADOS

Un total de 126 macroinvertebrados foron capturados nas dez trampas pitfall ao longo dos tres días e tres noites de mostraxe. Trece individuos, todos identificados como dípteros adultos alados, foron sen embargo descartados do anterior conxunto de datos por entender que non podían considerarse verdadeiros membros da comunidade de macroinvertebrados do solo. Os 113 individuos restantes exhibiron unha considerable diversidade taxonómica e un mínimo de 12 ordes e 23 familias de artrópodos estiveron representadas (Táboa 2). A abundancia dos distintos grupos taxonómicos foi non obstante moi heteroxénea e tres ordes (O. Coleoptera, O. Araneae e O. Collembola) aglutinaron o 75% dos individuos capturados (Figura 5).

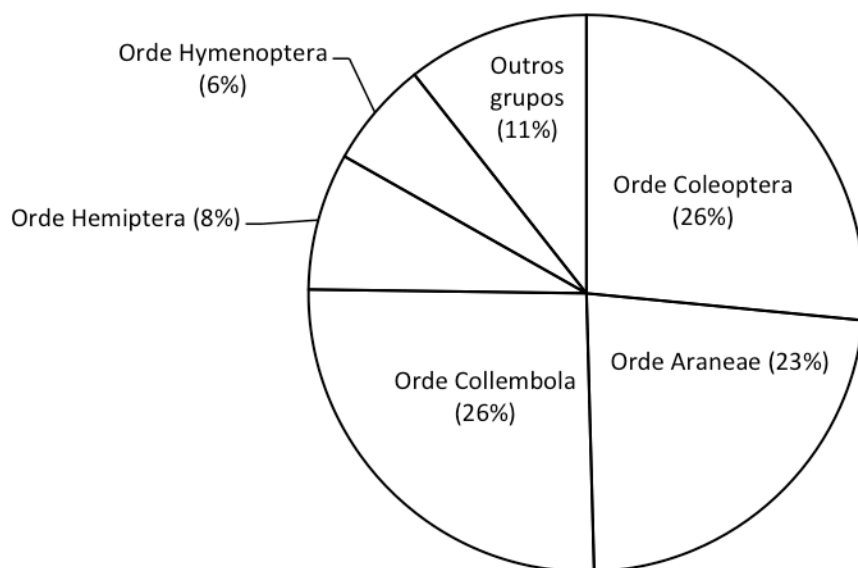


Figura 5. Diagrama de sectores amosando a abundancia relativa dos distintos grupos taxonómicos.

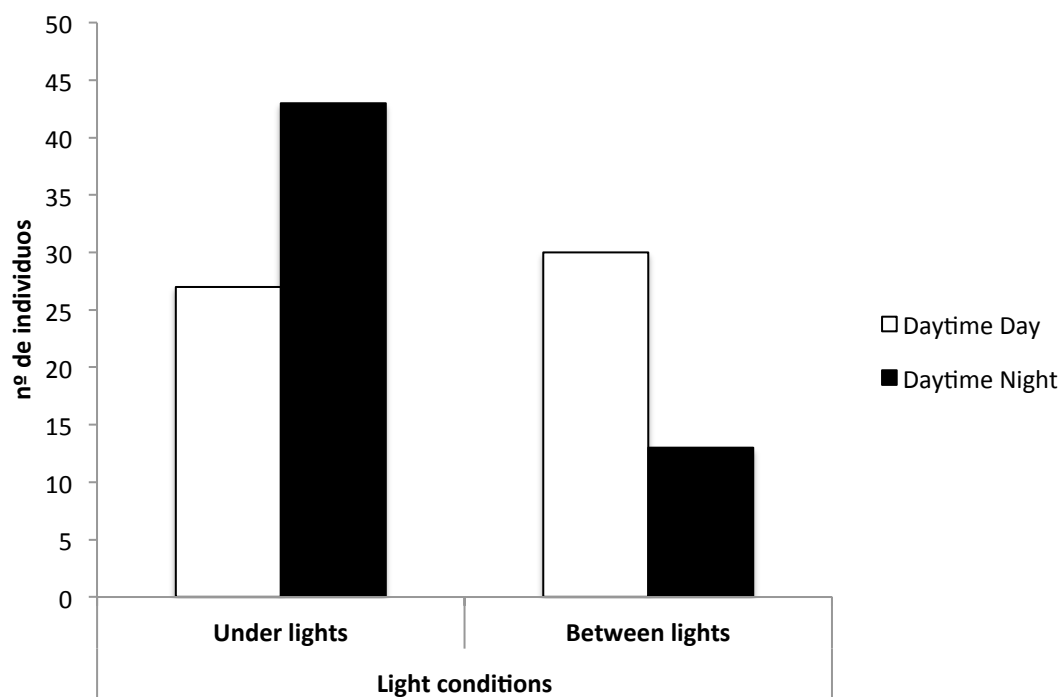


Figura 6. Efecto da iluminación artificial nocturna sobre a abundancia de macroinvertebrados terrestres. As barras representan o número total de individuos capturados nas trampas pitfall ao longo dos tres días e tres noites de mostraxe debaixo (Under lights) e entre (Between lights) luminarias durante o día (Daytime Day; barras brancas) e durante a noite (Daytime Night; barras negras).

O número de macroinvertebrados capturados nas trampas situadas debaixo das luminarias (i.e. 70 individuos en total) foi claramente superior ao obtido para as trampas situadas entre luminarias (i.e. 43 individuos en total). A consideración do factor temporal amosou non obstante que, se ben o número máis alto de capturas tiña lugar nas trampas situadas debaixo das luminarias durante a

noite (43 individuos en total), esas mesmas trampas durante o día arroxaban uns resultados moi semellantes aos obtidos para as trampas situadas entre luminarias (27 e 30 individuos en total, respectivamente) (Figura 6). Ademais, a variabilidade dos datos para as mesmas condicións de espazo e tempo foi considerable e a análise ANOVA non detectou diferenzas significativas no número medio de capturas para ningún dos dous factores testados (Táboa 2; Figura 7).

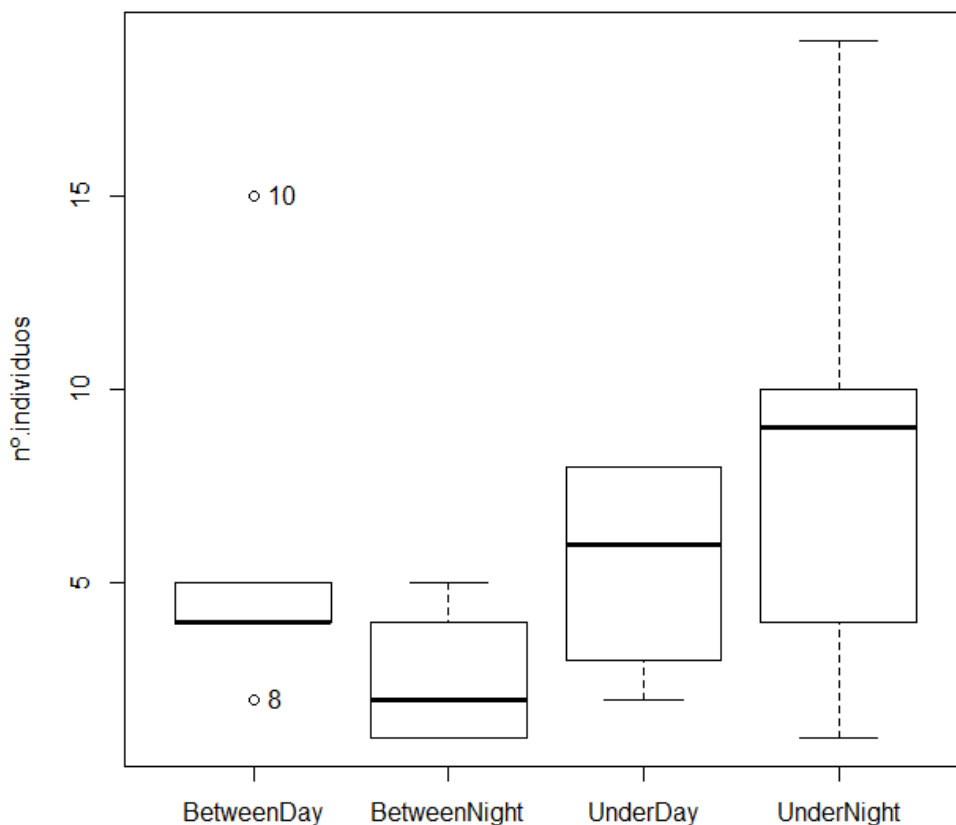


Figura 7. Efecto da iluminación artificial nocturna sobre a abundancia de macroinvertebrados terrestres. Diagramas de caixa para o número de individuos capturados en cada unha das catro situación experimental: entre luminarias durante o día (BetweenDay), entre luminarias durante a noite (BetweenNight), debaixo das luminarias durante o día (UnderDay) e debaixo das luminarias durante a noite (UnderNight).

	Daytime (day vs. night)		Light conditions (under vs. between)		Daytime x light conditions		
	n	F	p	F	p	p	
Grupos taxonómicos							
Todos ^a	113	0.6522	0.4312	1.8776	0.1895	1.9382	0.1829
O. Araneae	26	1.5059	0.2375	0.8471	0.3711	1.5059	0.2375
O. Collembola ^b	29	8.1120	<i>0.01163</i>	0.8850	0.36081	0.4982	0.49043
Grupos tróficos							
Depredadores ^b	50	1.3018	1.3018	0.0750	0.7877	2.1330	0.1635
Herbívoros ^b	46	3.5962	0.07612	1.6541	0.21671	0.3506	0.56205

Táboa 1. Efectos da contaminación luminosa sobre a distribución de grupos taxonómicos e grupos tróficos na comunidade de macroinvertebrados do solo. n: número de individuos; F: valor do estadístico F do ANOVA, p: p-valor (os resultados significativos son resaltados en cursiva). ^a A variable foi transformada segundo a fórmula Ln (x); ^b A variable foi transformada segundo a fórmula Ln (1+x).

Os resultados obtidos no caso particular dos dous grupos taxonómicos máis abundantes, isto é, a Orde Araneae (n=26) e a Orde Collembola (n=29), tampouco revelaron ningún efecto significativo das luminarias sobre a abundancia destes grupos. Os membros da O. Araneae exhibiron un patrón de distribución moi semellante ao detallado anteriormente para a totalidade dos grupos: o número total de arañas debaixo das luminarias case duplicou o número total de arañas entre luminarias (17 e 9 individuos respectivamente) pero a consideración do factor temporal revelou que esta diferenza estaba ocasionada fundamentalmente polo número elevado de capturas debaixo das luminarias durante a noite (Figura 8a); ademáis, a variabilidade dos datos foi de novo considerable e ningún dos dous factores testados na análise ANOVA revelou a existencia de diferenzas significativas no número medio de individuos (Táboa 2). Pola súa banda, os membros da Orde Collembola rexistraron o número máis elevado de capturas na compoñente diúrna das trampas situadas tanto debaixo das luminarias como entre luminarias (12 individuos en total en ámbolos dous casos; Figura 8b). Dacordo con esta observación, a análise ANOVA revelou un efecto significativo do factor *daytime* sobre o número medio de individuos pero, novamente, o factor *light conditions* non presentou efecto algún (Táboa 2).

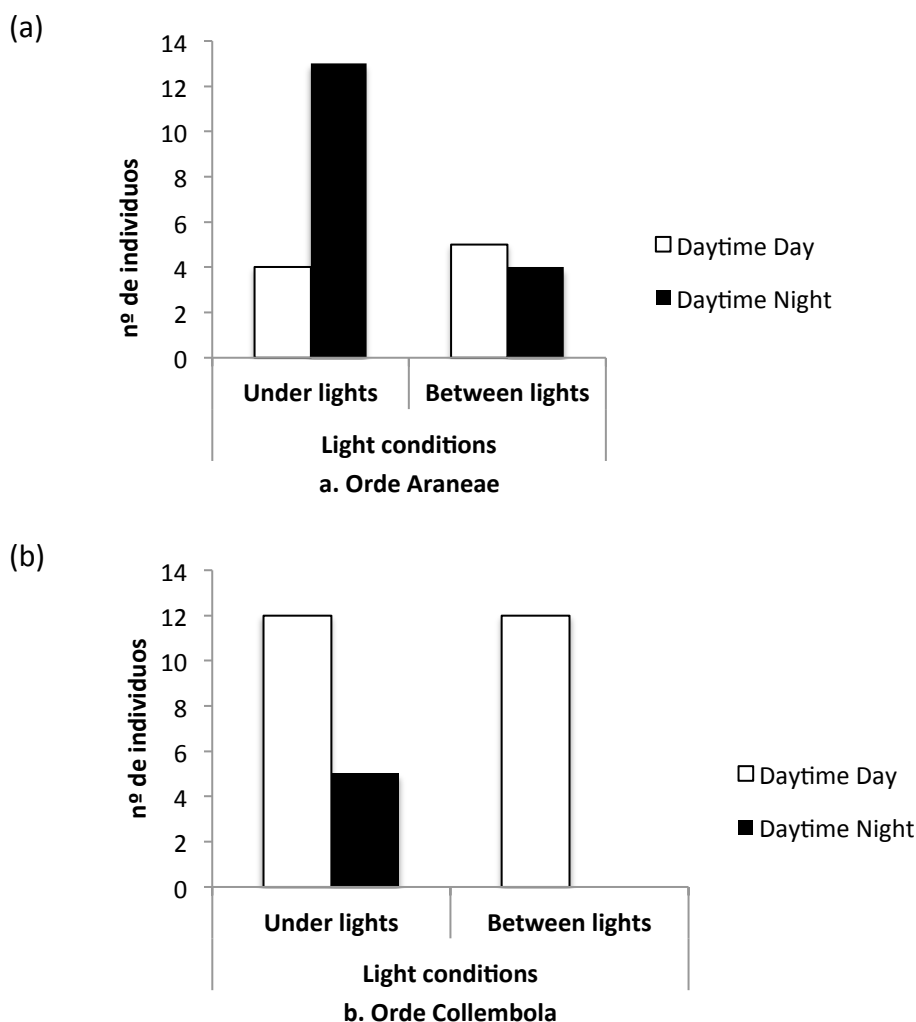


Figura 8. Efecto da iluminación artificial nocturna sobre a abundancia da Orde Araneae (a) e da Orde Collembola (b). As barras representan o número total de individuos capturados nas trampas pitfall ao longo dos tres días e tres noites de mostraxe debaixo (Under lights) e entre (Between lights) luminarias durante o día (Daytime Day; barras brancas) e durante a noite (Daytime Night; barras negras).

A asignación dos 113 individuos capturados aos principais grupos tróficos revelou que un 44,25% dos mesmos exhibían hábitos fundamentalmente depredadores namentres que un 40,71% eran principalmente herbívoros; a representación dos parasitos e carroñeiros foi anecdótica (1.77% e 0.88% respectivamente) e, ademais, non se rexistraron detritívoros (Figura 9, Táboa 2). Ao igual que en anteriores ocasións, as análises ANOVA levadas a cabo tanto para o grupo dos depredadores como para o grupo dos herbívoros revelaron que ningún dos factores testados presentaba efectos significativos sobre a abundancia destes grupos tróficos (Táboa 2).

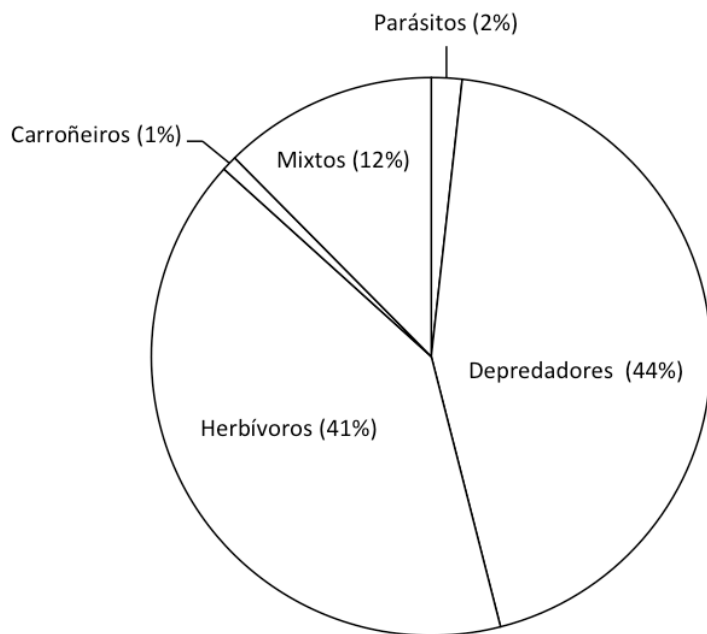


Figura 9. Diagrama de sectores amosando a abundancia relativa dos distintos grupos tróficos.

	UnderDay					UnderNight					BetweenDay					BetweenNight					
	FD1	FD2	FD3	FD4	FD5	FN1	FN2	FN3	FN4	FN5	MD1	MD2	MD3	MD4	MD5	MN1	MN2	MN3	MN4	MN5	
Subcl. Acari						1									1						2
Orde Araneae																					26
Fam. Agelenidae									1											1	2
Fam. Gnaphosidae							2					1									3
Fam. Linyphiidae	1			1	1		2	5	2	2	2		1				2		1		18
Fam. Lycosidae	1							1				1				1			1		3
Orde Chordeumatida																					2
Orde Coleoptera																					30
Fam. Anaspididae																		1			1
Fam. Carabidae						1	13	1								2					17
Fam. Chrysomelidae						1	1	1								1					4
Fam. Hydrophilidae				1																	1
Fam. Staphylinidae															4						4
Orde Coleoptera (larva)								1								1					3
Orde Diptera (larva)				2					1												3
Orde Collembola																					29
Superfam. Entomobryoidea	3			4	4			1	2	2	2				7						25
Fam. Sminthuridae		1							2				1								4
Orde Isopoda						1															1
Orde Hemiptera																					9
Fam. Aphididae				1	1				1	1	1				1				1		6
Fam. Cercopidae	1																				1
Fam. Cicadellidae				1										1							2
Orde Hymenoptera																					7
Fam. Formicidae		1	2	1	1							3									7
Orde Lepidoptera (larva)									1						1						2
Orde Opiliones																					1
Fam. Phalangidae							1														1
Orde Orthoptera																					1
Fam. Tetrigidae											1										1
	6	2	3	8	8	4	4	19	9	1	10	4	4	2	15	5	2	1	4	1	113

Táboa 2. Número total de individuos capturados ao longo dos tres días e tres noites de experimentación. FD: mostras baixo as luminarias durante o día. FN: mostras baixo as luminarias durante a noite. MD: mostras entre as luminarias durante o día. MN: mostras entre as luminarias durante a noite.

DISCUSIÓN

No presente traballo non se atoparon diferenzas significativas na abundancia de macroinvertebrados terrestres entre áreas situadas debaixo de luminarias –e, en consecuencia, potencialmente afectadas por contaminación luminosa– e áreas situadas entre luminarias. Ademais, a ausencia de diferenzas significativas tamén se constatou no caso da identidade dos grupos observados en ámbalas dúas situacións, tanto no relativo á súa taxonomía coma no referente á súa posición trófica. Así pois, o presente estudio non apoia a idea de que os niveis actuais de iluminación artificial nocturna en áreas suburbanas poidan estar provocando efectos adversos sobre os organismos e as súas comunidades.

A anterior conclusión resulta en certo modo sorprendente dado o número crecente de estudos publicados nos últimos anos onde se manifesta o contrario. Unha análise pormenorizada de ditas publicacións suxire non obstante certas diferenzas importantes que poderían explicar esta discrepancia. En primeiro lugar, é importante ter presente que a inmensa maioría dos estudos levados a cabo até o momento acerca dos efectos da contaminación luminosa sobre macroinvertebrados terrestres se centran en organismos voadores (e.g. Perkin et al. 2014, van Geffen et al. 2015, Altermatt & Ebert 2016, Macgregor et al. 2017). Sen embargo, tal e como se pode observar na Figura 10, os niveis de iluminancia (i.e. o fluxo de luz visible que incide sobre unha superficie) aos que se atopan potencialmente expostos os organismos que habitan a superficie do solo nunha área como a considerada no presente estudio son considerablemente inferiores aos que afectan aos organismos voadores. En concreto, namentres que nas inmediacións dunha lámpada, varios metros por enriba da superficie do solo, os organismos poden estar expostos a iluminancias que se aproximan aos 5000 lux, ao nivel do solo os anteriores valores poden caer até dúas ordes de magnitude e situarse nos ~30 lux. As consecuencias desta atenuación da iluminancia na vertical obsérvanse claramente no estudio de Perkin et al. (2014) onde, co obxectivo de investigar as consecuencias da iluminación artificial nocturna sobre as poboacións de insectos acuáticos adultos, se colocaron seis luminarias ao longo dun río e, en cada unha delas, se situaron tres trampas de interceptación a distintas alturas (50-100 cm, 150-200 cm e 250-300 cm); dacordo cos resultados obtidos no presente traballo, a comparación do número de insectos capturados en noites onde as lámpadas permaneceron acesas e noites onde as lámpadas estiveron apagadas unicamente amosou diferenzas significativas no caso das trampas en posición intermedia e superior, pero non no caso das trampas situadas máis preto do solo.

Por outra banda, é probable que a iluminancia á que están sometidos os organismos que habitan a superficie do solo varíe de maneira substancial coas características do dosel vexetal. No caso do presente estudio, ningunha árbore interfería de maneira evidente coa luz emitida polas luminarias pero é posible que a espesa vexetación herbácea que cubría o transecto experimental contribuíse a atenuar os niveis de iluminancia, xa de por si baixos, na superficie do solo.

Outro aspecto importante a ter en conta cando se consideran os efectos da contaminación luminosa ecolóxica é o espectro de luz emitido pois (i) non tódalas luminarias presentan o mesmo tipo de lámpada e (ii) non tódolos organismos responden por igual ás distintas lonxitudes de onda. De feito, unha análise detallada da literatura tendo presente este aspecto amosa novamente un sesgo e revela que o tipo de luz implicado nunha porcentaxe importante dos estudos que conclúen consecuencias adversas da iluminación artificial nocturna sobre os organismos e as súas comunidades é luz branca (isto é, luz que contén lonxitudes de onda de todo o espectro visible, dende os 390 nm até os 750 nm). Por exemplo, nun estudio levado a cabo en distintas localidades de México, Pacheco-Tuchuch et al. (2012) vincularon a presenza de *Triatoma*

dimidiata (O. Hemiptera), un dos principais vectores da enfermidade de Chagas, co emprego de luz branca no alumado público. A anterior conclusión tamén é coherente coa información existente acerca da percepción visual dos insectos pois, aínda que son capaces de percibir a rexión do espectro que vai dende o ultravioleta até o vermello, semellan discriminar moito mellor as lonxitudes de onda curtas (i.e. UV, azul e verde; 10nm-550nm) namentres que polo xeral son relativamente insensibles á rexión vermella do espectro (revisado en Bruce-White & Shardlow 2011). Posto que as lámpadas empregadas tradicionalmente nas instalacións de alumado público do noso país son lámpadas de vapor de sodio que emiten unha luz monocromática amarela (570-590 nm), cabe a posibilidade de que a ausencia de diferenzas significativas suxerida polo presente traballo estea relacionada ao menos en parte coas características espectrais da luz artificial nocturna na área de estudo. Neste senso, é importante suliñar que xa son numerosas as voces de alarma advertindo da ameaza potencial que supón a recente introdución da tecnoloxía LED no alumado público de rúas e estradas pois, aínda que dita tecnoloxía representa un considerable aforro enerxético, o seu amplo espectro de emisión fai supoñer unha maior incidencia sobre os organismos (e.g. Davies et al. 2013).

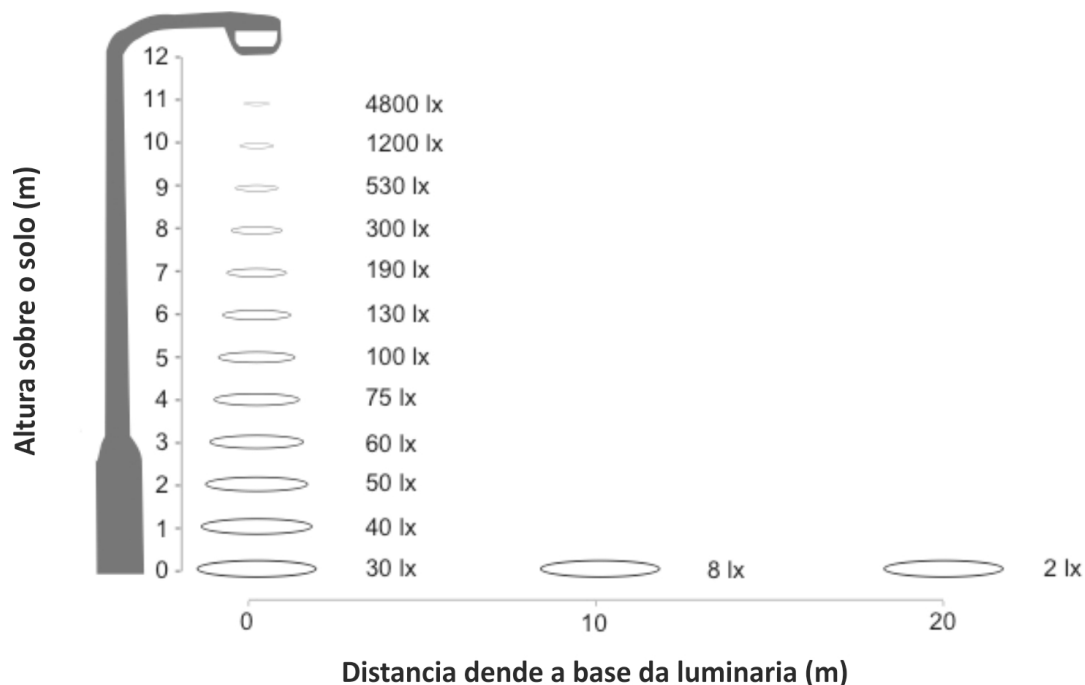


Figura 10. Atenuación dos niveis de iluminancia dunha luminaria estándar nos planos vertical e horizontal; Lx: lux. Adaptado de Bennie et al. (2016).

A pesar de todo o exposto anteriormente, nun estudio moi semellante ao detallado no presente traballo, Davies et al. (2012) detectaron diferenzas significativas na composición da comunidade de macroinvertebrados do solo pese a que os niveis de iluminancia das áreas afectadas polo alumado público apenas se achegaban aos 20 lux e, ademais, as lámpadas implicadas eran de vapor de sodio. Así pois, non podemos descartar que certas limitacións experimentais do presente estudio tamén teñan influído nos resultados. Por exemplo, resulta sorprendente que o no presente traballo unicamente se capturasen un total de 113 individuos namentres que dito número foi de aproximadamente 1200 no caso do estudo anteriormente mencionado para un período de tempo semellante (i.e. 72 horas) e un total de 14 trampas. Este número inusualmente baixo de capturas que, obviamente, limitou de xeito considerable a análise dos datos, podería estar relacionado coa data na cal o estudo foi levado a cabo: namentres que o estudo de Davies et

al. (2012) foi levado a cabo en Agosto, mes no que se produce un pico anual na abundancia de invertebrados, o presente estudo tivo que realizarse en Novembro debido a esixencias de planificación; ademáis, neste mes tivo lugar o fenómeno de superlúa (14 de Novembro de 2016) o que provocou unha nova demora das datas de experimentación. . Por outra banda, ao igual que en Davies et al. (2012), sería recomendable estudar a composición das comunidades vexetais asociadas co fin de corroborar estadisticamente a ausencia de diferencias no relativo a este punto ao longo do transecto experimental; de feito, posto a composición da comunidade de macroinvertebrados do solo depende en gran medida da vexetación circundante, calquer pequena variación nesta podería confundir o efecto da iluminación artificial nocturna.

CONCLUSIÓNS

Baixo as condicións experimentais utilizadas neste traballo, non foi posible establecer efectos significativos da iluminación artificial nocturna sobre a comunidade de macroinvertebrados do solo (abundancia total, abundancia relativa dos grupos taxonómicos máis relevantes e abundancia relativa dos grupos tróficos máis relevantes). Pese a que é probable que certas limitacións experimentais teñan influído os resultados, este estudo pon de manifesto a importancia de considerar características da luz artificial nocturna tales como o espectro de emisión.

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones experimentales utilizadas en este trabajo, no fue posible establecer efectos significativos de la iluminación artificial nocturna sobre la comunidad de macroinvertebrados del suelo (abundancia total, abundancia relativa de los grupos taxonómicos más relevantes y abundancia relativa de los grupos tróficos más relevantes). Pese a que es probable que ciertas limitaciones experimentales hayan influido los resultados, este estudio pone de manifiesto la importancia de considerar características de la luz artificial nocturna tales como el espectro de emisión.

CONCLUSIONS

Under the experimental conditions employed in the present study, it was not possible to establish significant effects of artificial lighting at night on the soil invertebrate community (total abundance, relative abundance of the most relevant taxonomic groups and relative abundance of the most relevant trophic groups). Although it is possible that certain experimental limitations have influenced the results, this study underlines the importance of considering features of artificial lighting at night such as emission spectrum.

AGRADECIMENTOS

En primerio lugar agradecer á Dra. Lucía Couceiro López, directora do traballo, pola súa axuda e paciencia comigo e sen a cal sería imposible preparalo. E tamén aos investigadores da área de Zooloxía por prestarme axuda tanto en instalacións, material ou dúbidas.

Grazas a meus pais, Lois, meus padriños, Diana e a toda a miña familia, sen a vosa axuda nada disto podería ser posible. A Iván, por axudarme en todo e apoiarme nos momentos que pensei que non o ía conseguir. Ás amigas de sempre, en especial a Alba que pese a que cada unha tomou o seu camiño mantivémonos unidas todo este tempo. A Melisa quen estivo aí dende o primeiro día, no bo e sobre todo no malo, e quen espero que non falte nunca, alá a onde nos leve o futuro. Andrés, Ángeles, Vanesa e Olalla por todos os momentos vividos xuntos durante estes anos e por

todos os que aínda nos quedan por vivir. Porque aínda que os nosos camiños se separen sempre busquemos a maneira de cruzalos.

Por último grazas á Facultade de Ciencias por darme a oportunidade de aprender e medrar como persoa e pasar a mellor etapa da miña vida.

BIBLIOGRAFÍA

Altermatt F. & Ebert D. (2016) Reduced flight-to-light behaviour of moth populations exposed to long-term urban light pollution. *Biology Letters*, 12: e20160111.

André H.M., Noti M.I. & Lebrun P. (1994) The soil fauna: the other last biotic frontier. *Biodiversity and Conservation*, 3: 45-56.

Baker J. (1990) Toad aggregations under street lamps. *British Herpetological Society Bulletin*, 31: 26-27.

Baker B.J. & Richardson J.M.L. (2006) The effect of artificial light on male breeding-season behaviour in green frogs, *Rana clamitans melanota*. *Canadian Journal of Zoology*, 84: 1528-1532.

Beier P. (2006) Effects of artificial night lighting on terrestrial mammals. En: *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*, Island Press, pp. 19-42.

Bellmann H.(2011) Nueva guía de campo de Arácnidos de Europa. *Ediciones Omega S.A.* Barcelona

Bennie J., Davies T.W., Cruse D., Inger R. & Gaston K.J. (2015) Cascading effects of artificial light at night: resource-mediated control of herbivores in a grassland ecosystem. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 370: e20140131.

Bennie J., Davies T.W., Cruse D. & Gaston K.J. (2016) Ecological effects of artificial light at night on wild plants. *Journal of Ecology*, 104: 611-620.

Briggs W.R. (2006) Physiology of plant responses to artificial lighting. En: *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*, Island Press, pp. 389-412.

Bruce-White C. & Shardlow M. (2011) A Review of the Impact of Artificial Light on Invertebrates, Buglife The Invertebrate Conservation Trust, 32 pp.

Buchanan B.W. (2006) Observed and potential effects of artificial night lighting on anuran amphibians. En: *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*, Island Press, pp. 192-220.

Chinery M.(1997) Guía de campo de los Insectos de España y de Europa. *Ediciones Omega S.A.* Barcelona

Cinzano P. (2000) The growth of light pollution in north-eastern Italy from 1960 to 1995. *Memorie della Societa Astronomica Italiana*, 71: 159-166.

Cinzano P., Falchi F., Elvidge C.D. & Baugh K.E. (2000) The artificial night sky brightness mapped from DMSP satellite Operational Linescan System measurements. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 318: 641-657.

Cinzano P. (2003) The growth of the artificial night sky brightness over North America in the period 1947-2000: a preliminary picture. En: *Light Pollution – The Global View*, Kluwer Academic Publishers, pp 39-47.

Davies T.W., Bennie J. & Gaston K.J. (2012) Street lighting changes the composition of invertebrate communities. *Biology Letters*, 8: 764-767.

- Davies T.W, Bennie J., Inger R., Hempel de Ibarra N. & Gaston K.J. (2013) Artificial light pollution: are shifting spectral signatures changing the balance of species interactions? *Global Change Biology* 19: 1417-1423
- Eisenbeis G. (2006) Artificial night lighting and insects: attraction of insects to streetlamps in a rural setting in Germany. En: *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*, Island Press, pp. 345-364.
- Falchi F., Cinzano P., Duriscoe D., Kyba C.C.M., Elvidge C.D., Baugh K., Portnov B.A., Rybnikova N.A. & Furgoni R. (2016) The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science Advances*, 2(6): e1600377.
- Frank K.D. (2009) Exploitation of artificial light at night by a diurnal jumping spider. *Peckhamia*, 78(1): 1-3.
- Futsaether C.M., Vollsnes A.V., Kruse O.M.O., Otterholt E., Kvaal K. & Eriksen A.B. (2009) Effects of the nordic photoperiod on ozone sensitivity and repair in different clover species studied using infrared imaging. *Ambio*, 38: 437-443.
- Gaston K.J., Bennie J., Davies T.W. & Hopkins J. (2013) The ecological impacts of nighttime light pollution: a mechanistic appraisal. *Biological Reviews*, 88: 912-927.
- Gehring J., Kerlinger P. & Manville A.M. (2009) Communication towers, lights, and birds: successful methods of reducing the frequency of avian collisions. *Ecological Applications*, 19(2): 505-514.
- Hölker F., Wolter C., Perkin E.K. & Tockner K. (2010a) Light pollution as a biodiversity threat. *Trends in Ecology and Evolution*, 25: 681-682.
- Hölker F., Moss T., Griefahn B., Kloas W., Voigt C.C., Henckel D., Hänel A., Kappeler P.M., Völker S., Schwoppe A., Franke S., Uhrlandt D., Fischer J., Klenke R., Wolter C. & Tockner K. (2010b) The dark side of light: a transdisciplinary research agenda for light pollution policy. *Ecology and Society*, 15: 13.
- Hölker F., Wurzbacher C., Weibenborn C., Monaghan M.T., Holzhauer S.I.J. & Premke K. (2015) Microbial diversity and community respiration in freshwater sediments influenced by artificial light at night. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 370: e20140130.
- Holzhauer S.I.J., Franke S., Kyba C.C.M., Manfrin A., Klenke R., Voigt C.C., Lewanzik D., Oehlert M., Monaghan M.T., Schneider S., Heller S., Kuechly H., Brüning A., Honnen A.-C. & Hölker F. (2015) Out of the Dark: Establishing a Large-Scale Field Experiment to Assess the Effects of Artificial Light at Night on Species and Food Webs. *Sustainability*, 7: 15593-15616.
- Jones D. (1985) Guía de campo de los Arácnidos de España y Europa. *Ediciones Omega,S.A.* Barcelona.
- Jung K. & Kalko E.K.V. (2010) Where forest meets urbanization: foraging plasticity of aerial insectivorous bats in an anthropogenically altered environment. *Journal of Mammalogy*, 91(1): 144-153.
- Justice M.J. & Justice T.C. (2016) Attraction of insects to incandescent, compact fluorescent, halogen and led lamps in a light trap: implications for light pollution and urban ecologies. *Entomological news*, 125(5): 315-326
- Kempenaers B., Borgström P., Loës P., Schlicht E. & Valcu M. (2010) Artificial night lighting affects dawn song, extra-pair siring success, and lay date in songbirds. *Current Biology*, 20: 1735-1739.

- Lloyd J.E. (2006) Stray light, fireflies, and fireflyers. En: *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*, Island Press, pp. 345-364.
- Longcore T. & Rich C. (2004) Ecological light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(4): 191-198.
- Macgregor K.J, Evans D.M., Fox R. & Pocock M.J.O (2017) The dark side of street lighting: impacts on moths and evidence for the disruption of nocturnal pollen transport. *Global Change Biology*, 23: 697-707.
- Pacheco-Tucuch F.S., Ramirez-Sierra M.J., Gourbière S. & Dumonteil E. (2012) Public street lights increase house infestation by the Chagas disease vector *Triatoma dimidiata*. *PLoS ONE*, 7(4): e36207.
- Perkin E.K., Hölker F. & Tockner K. (2014) The effects of artificial lighting on adult aquatic and terrestrial insects. *Freshwater Biology* 59: 368-377.
- Perry G. & Fisher R.N. (2006) Night lights and reptiles: observed and potential effects. En: *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*, Island Press, pp. 169-191.
- Riegel K.W. (1973) Light pollution: Outdoor lighting is a growing threat to astronomy. *Science*, 179: 1285-1291.
- Salmon M. (2003) Artificial night lighting and sea turtles. *Biologist*, 50(4): 163-168.
- Sánchez de Miguel A., Zamorano J., Gómez-Castaño J. & Pascual S. (2014). Evolution of the energy consumed by street lighting in Spain estimated with DMSP-OLS data. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 139: 109-117.
- Santos C.D., Miranda A.C., Granadeiro J.P, Lourenço P.M., Saraiva S. & Palmeirim J.M. (2010) Effects of artificial illumination on the nocturnal foraging of waders. *Acta Oecologica*, 36: 166-172.
- Stork N.E. & Eggleton P. (1992) Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. *American Journal of Alternative Agriculture*, 7: 38-47.
- Tilling, S.M (1987) A Key to the major groups of British Terrestrial Invertebrates. *Field Studies* 6: 695-766
- Tuxbury S.M. & Salmon M. (2005) Competitive interactions between artificial lighting and natural cues during seafinding by hatchling marine turtles. *Biological Conservation*, 121: 311-316.
- van Geffen K.G., van Grunsven R.H.A., van Ruijven J., Berendse F. & Veenendaal E.M. (2014) Artificial light at night causes diapause inhibition and sex-specific life history changes in a moth. *Ecology and Evolution*, 4(11): 2082– 2089.
- van Geffen K.G., van Eck E., de Boer R.A., van Grunsven R.H.A., Salis L., Berendse F. & Veenendaal E.M. (2015) Artificial light at night inhibits mating in a Geometrid moth. *Insect Conservation and Diversity* 8: 282-287.
- Wiese F.K., Montevecchi W.A., Davoren G.K., Huettmann F., Diamond A.W. & Linke J. (2001) Seabirds at risk around offshore oil platforms in the North-west Atlantic. *Marine Pollution Bulletin*, 42(12): 1285-1290.
- Zahrandník, J. (1990) Guía de los Coleópteros de España y Europa. *Ediciones Omega S.A.* Barcelona

ANEXO I. Documento de asignación do TFG na Facultade de Ciencias.

CONFORMIDADE DO ALUMNO E COMPROMISO DE CONFIDENCIALIDADE (corresponde ao alumno/a).

A/O abaixo asinante, D./Dna. **Alba Magariños Ares**, con DNI número **45954132V**, alumna/o do Grao en Bioloxía impartido na Facultade de Ciencias da Universidade de A Coruña, con domicilio en **Amenzóns- Freixeiro (Santa Comba), A Coruña**, teléfono **659289124**, expresa a súa conformidade para realizar as actividades correspondentes ao *Traballo de Fin de Grao*: **Alumado Público e Invertebrados Terrestres: Efectos da Contaminación Luminosa sobre a Composición das Comunidades**, cuxas características se detallan en documento aparte, asinado polo(s) titor(es) aténdose ás normas descritas no Regulamento aprobado ao efecto pola Facultade de Ciencias da UDC.

A/O asinante comprométese a gardar con absoluto rigor a confidencialidade e o segredo profesional, e a non utilizar en ningún caso as informacións recollidas durante o desenvolvemento das súas actividades con obxecto de facelas públicas ou comunicalas a terceiros. Comprométese tamén a non explora-los traballos realizados sen autorización escrita expresa, nin durante o periodo que dure o *Traballo de Fin de Grao* nin unha vez finalizado o mesmo. A/O asinante comprométese a respectar as normas de seguridade e prevención de riscos da UDC ou, de ser o caso, da empresa/ institución de acollida.

En A Coruña, a 12 de Setembro de 2017.

Asdo.: SR./SRA. DECANO/A DA FACULTADE DE CIENCIAS DA UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ANEXO II. Principais caracteres morfolóxicos e ecolóxicos dos grupos taxonómicos representados no conxunto de datos.

CLASE ARACHNIDA

1. SUBCLASE ACARI

- Grupo de Arácnidos de pequeno tamaño moi rico en especies.
- Numerosas formas parásitas.
- División do corpo secundaria (non presentan a típica división en prosoma e opistoma dos arácnidos); segmentación inconspicua ou, na maioría dos casos, ausente.

2. ORDE ARANEAE

- Corpo dividido en dúas seccións:
 - a. Prosoma. Sección anterior que contén a cabeza, o tórax e as extremidades.
 - b. Opistosoma. Sección posterior composta polo abdome e onde se localizan as hileras, pulmóns en libro, cribelo (caso de existir) e órganos xenitais.
- Alimentación: depredadoras.

2. 1. Familia Agelenidae

- Hileras posteriores bisegmentadas e que sobresaen visiblemente sobre as demais.
- Telas en embude.

2. 2. Familia Gnaphosidae

- Hileras cilíndricas que, en posición de repouso, se dispoñen paralelamente ou se abren oblicuamente.
- Coloración pouco vistosa.
- Ollos centrais posteriores de morfoloxía irregular, angulares ou ovalados.
- Cazadoras nocturnas; durante o díaoclúense no interior do seu niño de seda ou debaixo de pedras/detritos en lugares secos.

2. 3. Familia Linyphiidae

- Especies de pequeno tamaño e pigmentación escura.
- A cabeza dos machos exhibe a miúdo protuberancias sobre as cales poden situarse algúns ou tódolos ollos.
- Ollos dispostos en dúas filas transversais onde a fila anterior está tan alonxada da base dos quelíceros como a posterior.
- Constrúen pequenas telas laminares sen refuxio fixadas na súa parte inferior por fíos de seda e que a miúdo presentan na súa parte superior fíos tendidos para apresar especies voadoras.

2. 4. Familia Lycosidae

- Arañas de tamaño medio-grande que non constrúen telas.
- Ollos moi desenvolvidos e dispostos en tres filas transversais: no borde da fronte hai unha liña de catro pequenos ollos dispostos moi xuntos e na rexión posterior sitúanse outros catro, claramente maiores, e que forman un trapecio ensanchado cara atrás.
- As femias transportan as postas nas hileras e, máis tarde, ás ninfas sobre o opistoma.

3. ORDE OPILIONES

- Prosoma e opistoma fusionados formando unha unidade compacta.
- Dous ollos dispostos nos laterais dunha protuberancia, a miúdo claramente elevada e situada na metade do torso.
- Quelíceros desenvolvidos en afiadas pinzas.
- Extremidades moi longas e torso dividido en “articulacións aparentes” de maneira que se poden enrolar como látegos nos talos das plantas.

CLASE INSECTA

1. ORDE COLEOPTERA

- Cabeza fortemente esclerosada e constante en estrutura; nela atópanse as antenas (formadas por once ou menos artellos). Protórax moi desenvolvido e, polo xeral, móbil; mesotórax pouco aparente e metatórax relativamente grande.
- Dous pares de ás: as anteriores están endurecidas (élitros) e reúnense ao longo da liña central do dorso, as posteriores son membranosas e habitualmente atópanse pregadas baixo as anteriores.
- Pezas bucais do tipo mastigador.

1. 1. Familia Anaspididae

- Cores pardas e negras; o pronoto pode presentar unha cor distinta os élitros poden ser bicolors.
- Antenas constituídas por 11 artellos, arrosariadas ou aserradas.

1. 2. Familia Carabidae

- Bos corredores; moitos carecen de ás e nalgunhas especies os élitros están fusionados ofrecendo protección adicional cando escarvan e se arrastran.
- Principalmente nocturnos e carnívoros (tanto as larvas coma os individuos adultos).
- A miúdo cor negra; moitas especies presentan brillos metálicos.

1. 3. Familia Chrysomelidae

- Carecen de ás e os élitros están fusionados.
- Algunhas especies liberan un líquido de cor vermella pola boca e outras articulacions, un comportamento que se pensa que lles axuda a evadirse dos seus predadores.
- A maioría das especies son herbívoras e, en moitas ocasións, constitúen pragas de numerosos cultivos.
- Coloración vistosas, a miúdo con brillos metálicos.

1. 4. Familia Hydrophilidae

- A maioría das especies son acuáticas pero tamén existen especies terrestres.
- Adultos herbívoros se ben as larvas dalgunhas especies son carnívoras.
- Cor negra ou parda pero a parte inferior está cuberta por pelos finos que lles confiren un aspecto prateado.

1. 5. Familia Staphylinidae

- Antenas claviformes, élitros case sempre pequenos, ás posteriores grandes e capacidade de voo notable na maioría das especies.
- Principalmente carnívoros.

2. ORDE COLLEMBOLA

- Pequenos insectos ápteros de corpo cilíndrico ou globular, habitualmente provistos dun órgano saltador bifurcado no seu extremo posterior que lles permite brincar cando son molestados.
- A diferenza doutros insectos, o abdome non presenta once segmentos senón seis.
- Antenas de lonxitude variable (normalmente catro artellos, máximo seis).
- Coloración grisácea ou parda, aínda que algunhas especies son brancas ou moteadas.
- Pezas bucais do tipo mastigador, e parcialmente fusionadas dentro da cápsula cefálica.
- Habitan no solo, entre a vexetación; evitan os lugares onde a humidade non é elevada xa que son susceptibles á desecación.

2. 1. Superfamilia Entomobryoidea

- Colémbolos de maior tamaño con apéndices relativamente longos.

2. 2. Familia Sminthuridae

- Colémbolos globulares.

3. ORDE HEMIPTERA

- Insectos de tamaño variable pero que sempre presentan pezas bucais perforantes (rostro) adaptadas para succionar xugos vexetais ou doutros animais. As antenas poden ser moi longas en relación coa lonxitude do corpo pero polo xeral están formadas só por catro ou cinco segmentos (raramente máis de dez).
- Atendendo á estrutura alar e posición do rostro distínguense dúas subordes:
 - a. Heterópteros. Ás anteriores claramente divididas en dúas rexións (unha área anterior resistente e unha área posterior membranosa); o rostro sae claramente da parte anterior da cabeza.
 - b. Homópteros. Ás non divididas en dúas rexións; o rostro sae da parte posterior da cabeza.

3. 1. Familia Aphididae

- As ás, cando están presentes (a maioría das especies presentan formas ápteras), son polo xeral transparentes e membranosas; ademáis, as ás anteriores son moito maiores que as posteriores; a venación é reducida pero constante (o rasgo máis evidente é unha vea ancha que corre preto da marxe costal); en repouso mantéñense en posición de “tellado”.
- Presencia de cornículos abdominais que segregan un fluído que ofrece protección fronte aos predadores. Moitas especies tamén producen unha cera esponxosa ou en po en glándulas dérmicas.
- Animais herbívoros que se alimentan principalmente de follas e talos tenros.
- Dominan as coloracións verdes e pardas.

3. 2. Familia Cercopidae

- Costume ninfal de vivir nunha masa de escuma ou baba (protección fronte á desecación e en certo grao aos depredadores).
- Gran capacidade de salto.

3. 3. Familia Cicadellidae

- Tamaño reducido, gran capacidade de salto (propiciado polas coxas anchas que se estenden case até os costados do abdome) e presenza dunha ou máis filas de espiñas nas tibias posteriores.
- Cores brillantes, a maioría verdes.
- Herbívoros (moitas especies en climas cálidos constitúen pragas).

4. ORDE HYMENÓPTERA

- Dentro desta orde distínguense dúas subordes:
 - a. Síntitos. Non presentan cintura; son os membros máis primitivos da orde.
 - b. Apócritos. Presentan unha cintura moi estreita entre o tórax e o abdome; inclúe as abellas, avespas e formigas entre outros.
- A cabeza está esclerotizada e únese ao tórax por un colo moi fino que pode xirar libremente. Os ollos compostos son case sempre de gran tamaño e existen ademáis tres ocelos. As pezas bucais son do tipo mastigador e sempre están presentes as mandíbulas.
- O tórax está composto polos tres segmentos habituais pero nos apócritos o primeiro segmento abdominal fúsióname co tórax formando o propodeo.
- Dous pares de ás membranosas aínda que existen individuos ápteros.
- Presentan conducta social.

4. 1. Familia Formicidae

- Pecíolo consistente nun ou dous segmentos que habitualmente portan pequenos nódulos ou escamas; antenas acodadas.
- Algunhas subfamilias presentan aguillón e a miúdo poden defenderse lanzando chorros de ácido fórmico aos atacantes.
- Mandíbulas fortes e afiadas, moitas especies poden morder dolorosamente
- Habitan en colonias e normalmente teñen unha raíña, un macho e distintas castas de obreiras.

5. ORDE ORTHOPTERA

- Cabeza hipognata. Ollos compostos grandes; a maior parte de especies tamén presentan dous ou tres ocelos. Antenas de lonxitude variable. Pronoto longo e ben desenvolvido. Patas ben desenvolvidas e con uñas eficaces (as traseiras máis longas e musculadas para facilitar o salto).
- Ás presentes ou ausentes. Se presentes, totalmente desenvolvidas, as anteriores máis recias e as posteriores membranosas e delicadas.
- Mandíbulas mastigadoras.

5. 1. Familia Tetrigidae

- Pronoto moi desenvolvido, dirixido cara atrás acadando o extremo do abdome.
- Ás anteriores reducidas a pequenas escamas pero as posteriores están totalmente desenvolvidas en moitas especies.
- Animais activos durante o día se ben a súa actividade depende moito da temperatura.

CLASE CRUSTACEA

1. ORDE ISOPODA

- Distínguese dos milpés por presentar un certo número de segmentos estreitos no extremo traseiro do corpo provistos de apéndices (urópodos).
- Forma aplanada con sete pares de patas motoras.
- Posto que os isópodos presentan branquias abdominais rudimentarias, protexidas por placas, son animais nocturnos que habitan áreas húmidas.

CLASE DIPLOPODA

1. ORDE CHORDEUMATIDA

- Corpo polo xeral alongado (até 50 mm).
- Dous pares de patas por cada segmento.
- Antenas integradas por menos de dez artellos.
- Sobre o solo ou entre as follas caídas.