

ABSTRACT

The Arabian Peninsula comprises the seven countries of the Arabian Gulf (Persian Gulf): Bahrain, Kuwait, Oman, Qatar, Saudi Arabia, United Arab Emirates (UAE) and Yemen. The United Arab Emirates lies in the north-eastern part of the Arabian Peninsula between latitudes 22° 40' and 26° 00' north and longitudes 51° 00' and 56° 00' east. UAE is covering a total surface of 83.600 Km² and consists of seven Emirates: Abu Dhabi, Dubai, Sharjah, Ras Al Khaimah, Fujairah, Ajman and Umm Al Quwain. Most of the UAE land is desert with predominance of Aeolian landform system. UAE geomorphologic features include mountains, gravel plains, sand sheets and saline flats. The sandy desert covers over 90.0% of the country's surface area. The major part of the sandy desert is characterized by the presence of sand dunes that rise gradually from the coastal plain reaching elevations up to 250 m above sea level (asl). The UAE mountainous regions of the UAE consist of north-south mountain ranges parallel to the east coast. The rainfall of Arabian Peninsula is erratic and unpredictable in time and quantity. In some years, certain areas may not receive rainfall. The UAE is a hyper-arid hot desert (subtropical hot desert) ecosystem which have two main seasons: a long hot summer (April to October) and a short mild winter (November to March). The rain falls mainly in winter season with maximum intensity during February and March. The mean annual rainfall is about 110 mm with extreme variability in space and time. Abu Dhabi (southern Emirates with sandy habitat) received the lowest annual precipitation (about 45 mm/year). The highest annual precipitation found in the north-east mountainous region of the country ranges between 125.6 and 172 mm/year. The annual average temperature is approximately 27 °C and humidity 45.0%. For the winter, the mean temperature is around 20 °C, while mean temperature of summer ranges between 35 - 40 °C. In addition, humidity could reach more than 90.0%.

The UAE flora comprises about 830 species which have specific physiological and morphological adaptations to survive in the harsh environmental conditions. Interestingly, the mountains area which occupies only 10.0% of UAE total area and receives the highest rainfall has more than 50.0% of the total identified plant species. The UAE have four vegetation ecosystems; coastal lowlands region which is characterized by mangrove vegetation composed of *Avicennia marina* and halophytic plant communities. Desert regions occupy the most of the land surface of the country. These regions include two areas: a- western dunes

which dominated by *Cyperus conglomeratus* and *Haloxylon salicornicum*, b- central desert which dominated by *Citrullus colocynthis* and *Stipagrostis plumosa*. Mountainous region corresponds to the Hajar Mountains series that extend from the UAE to the neighbouring Oman which dominated by *Euphorbia larica*, *Pulicaria glutinosa* and *Ochradenus aucheri*. Alluvial plains region which is dominated by some species such as *Aerva javanica*, *Asphodelus tenuifolius* and *Tephrosia apollinea*.

In extreme weather of arid and desert areas such as UAE, the plant communities usually do not have a closed canopy cover. Furthermore, the suitable conditions for growth are often restricted to small micro-habitats. Each desert plant species has its own complex of survival strategies that enable it to persist to appear in a certain desert habitat in which exhibit a complementary set of adaptations during the different stages of its life cycle. These adaptations enable the species to survive despite the presence of selective biotic factors (e.g., seed consumption) and abiotic factors (extreme, unpredictable amounts and distribution of rain).

Plant functional diversity could be defined as the type, level and relative abundance of the functional traits which are present in a community. Plant functional traits are the features such as morphological, physiological and phenological features that represent ecological strategies to determine how plant species adapt to environmental factors. Traits such as plant size (e.g., height) and seed size (e.g., seed length / mass) are key standardized functional traits used for all ecological studies.

The vegetative traits contain plant height, life cycles and growth forms. Plant height is associated with growth form and competitive vigor. The two main types of life cycles were recognized, the annual species (species dies within one growing season), and perennial (a species that grows for more than two season). In arid and desert ecosystems annual species are common. Growth forms are mainly determined by the canopy structure and canopy height. The growth forms could be recognized to herbaceous "short basal, semi-basal, erect leafy, tussocks", dwarf shrubs, shrubs and trees.

The regenerative (reproductive) traits include seed size and seed dispersal. Dispersal is the departure of a diaspore unit (seed or fruits) from the mother plant. Dispersal is a crucial process for plants as it connects the end of the reproductive cycle of adult plants with the offspring establishment. Dispersal might enable plant to avoid competition with the mother

plant and with other seedlings and predation by animals. There are different processes can move diaspores which correspond to dispersal modes. Spatial dispersal (dispersal in the space) present two main types: a) Species have diaspores equipped with structures that facilitate diaspore movement (developed spatial dispersal), which could be divided to developed dispersal by abiotic vectors “e.g., wind” and developed dispersal by biotic vectors “e.g., vertebrate”, and b) Species have diaspores lack such dispersal-enhancing structures (restricted spatial dispersal). Restricted spatial dispersal is prevailing in deserts as the suitable areas for growth “safe sites” are usually occupied with mother plants. Between dispersal modes we can distinguish; barochory (the plant use of gravity for dispersal), wind dispersal (anemo-meteochory) is one of the more primitive means of dispersal. Wind dispersal can take on one of two primary forms: seeds can float on the breeze or alternatively, they can flutter to the ground. The classic examples of these dispersal mechanisms, in the temperate northern hemisphere, include dandelions, which have a feathery pappus. Animals can disperse plant seeds in several ways, all named zoochory. Seeds can be transported on the outside of vertebrate animals (mostly mammals), a process known as epizoochory. Seed dispersal via ingestion by vertebrate animals (mostly birds and mammals), or endozoochory, is the dispersal mechanism for most tree and large shrubs species. Semachory, when plants disperse their seed without any help from an external vector, as a result this limits considerably the distance that plants can disperse their seeds. In the ombro-hydrochory dispersal mode, the plant disperses by the effect of rain and/or dew. Ballistic is a type of dispersal where the seed is forcefully ejected by explosive dehiscence of the fruit.

Seed mass “known as seed size” is one of the most important traits influencing the plant life cycle from seed dispersal, germination, emergence, survival and establishment of seedlings. In general, large seeds producing bigger and stronger seedling with better competitive ability with smaller seedlings, especially under resource-limited environment such as deserts. In arid deserts, some of annual species produce tiny dust-like seeds which are dispersed by wind after their maturation. These species adopt the escape strategy by falling into cracks below the soil surface and become a part of the long-lasting soil seed banks.

The mechanism in which the diaspore units are prevented from long-distance dispersal called “antitelechory” is considered a form of restricted spatial dispersal.

Antitelechoric mechanisms are adaptive responses to high mortality of diaspore units in

unpredictable deserts and help diaspore to inhabit the mother sites. The antitelechoric mechanisms include synaptospermy, myxospermy and trypanospermy. Synaptospermy, in which more than one seed is dispersed as one unit and always associated with arid environments. Myxospermic mechanism in which mucilage is produced by the diaspore when diaspore is exposed to moisture which mainly associated with arid environments.

Trypanospermy is an anchorage mechanism by the appendages of the diaspore, which support its burial in the soil at the point of initial contact.

Bradychory is adopted in some desert plants through which mature seeds are retained in plant canopy and delays seed dispersal for varying periods of time until the suitable condition of germination and seedling establishment.

In arid and deserts ecosystems plant species develop strategies through producing offspring that differ in time and place of germination, and tolerance to environmental stresses. Seed dormancy enhances seedling survival by preventing germination under unfavorable condition. The level and type of dormancy can be determined by environmental factors prevailing during seed maturation on mother plants. It was reported that mechanisms of releasing dormancy under harsh environmental conditions is influenced by several factors such as alternating temperatures and light.

Chapter 1: Dispersal traits in the hyper-arid hot desert of the United Arab Emirates (UAE)

Plant dispersal has an essential role in the colonization of new habitats, population dynamics as well as in species interactions and community structure and floral diversity. Seed size is an important ecological trait for seedling establishment, formation of a persistent seed bank, and dispersal. For instance, generally, large seeds increase the chance of seedling survival and establishment, while small seeds contribute more to forming seed bank. The large-seeded species are more likely to be animal dispersed, while small-seeded species are more likely to have unassisted seed dispersal. The dispersal spectrum is the frequency distribution of dispersal modes in a particular vegetation type. It is reported that the longdistance seed dispersal is less frequent in arid and semi-arid habitats than in mesic habitats and traits constraining seed dispersal are common in arid and semi-arid floras. This means that the restrictions to seed dispersal have been widely used to explain the origin and maintenance of patches in arid vegetation. Seed size is correlated with flowering time and

dispersal phenology. In hyper-arid hot deserts, phenological events are mainly related to the amount and time of annual rainfall and soil moisture condition. In the Arabian desert, no studies exist that assess dispersal traits and dispersal phenology. The study included in this chapter described the dispersal traits of species in five Afro-Arabian habitats from the hyperarid hot desert of UAE by determining the relation between diaspore size (seed and fruit length) and growth forms, spatial dispersal, dispersal modes, APG IV phylogenetic taxonomic groups, phytogeography and dispersal phenology.

Field sampling and phenological observations were carried out monthly between May 2014 and October 2016. Five different habitats were represented in this study “salt flats, gravel plains, sand sheets, mountains and high mountains”. Thirty quadrates were selected and sampled per habitat which represents a total of 150 quadrates. The quadrate size was 200 m², in each quadrate the species abundance has been estimated according to the ‘BraunBlanquet’ scale. The studied species mostly common and some are rare species that characterize the vegetation of UAE. The voucher specimens of the most studied species were kept in the Sharjah Seed Bank and Herbarium, Sharjah Research Academy, Sharjah. Seven measured dispersal traits were analysed: (1) dispersal mode which include anemometochory, ombro-hydrochory, semachory, ballistic and barochory, (2) diaspore size (diaspore length), (3) dispersal unit (fruit or seed), (4) presence of structures facilitating long distance dispersal (spatial dispersal), (5) diaspore appendages, (6) diaspore color and (7) dispersal phenology. One-way analysis of variance (ANOVA) and the Pearson χ^2 test-statistic were used to analyse the relation between the diaspore size and the other traits as well as association between nominal traits, by using SPSS 14 and SYSTAT 13.

A total of 302 species belonging to 51 families and 192 genera, were studied.

Fabaceae, Asteraceae and Poaceae (12.6%, 9.9% and 9.6%, respectively) were the richest in species number. From the eight phylogenetic APG IV groups; Fabids and Basal Asterids were the predominant (22.2% and 20.5%, respectively). The dwarf shrubs species (41.1%) were dominant. Fruits (69.7%) were the dominant dispersal unit. Small diaspores were predominant (six orders of magnitude from 10^{-4} to 10^2) and ranged from 0.02 cm (*Sporobolus spicatus*) to 19.5 cm (*Prosopis juliflora*). Species lacking structures for long-distance dispersal (restricted spatial dispersal) were more represented (58.6%). The most dominant dispersal mode was semachory (43.7%) followed by anemo-meteochory (28.8%) and

barochory (23.8%). Most of the species studied (64.2%) dispersed in the dry season (from April to October). The major diaspores were found in Fabids and Malvids phylogenetic APG IV group (mean size: 1.8 cm and 0.9 cm, respectively) and the minor in Commelinids (mean size: 0.30 cm). The trees had the largest diaspore (mean size: 3.9 cm) while tussocks had the smallest (mean size: 0.3 cm). Barochoric species (mean size: 1.8 cm) were the largest while semachoric (mean size: 0.4 cm) were the smallest. Species dispersed by biotic vectors (mean size: 2.9 cm) had the biggest diaspore. Barochory was predominant in trees (71.0%). Semachory was more represented in herbaceous species, such as tussock graminoids (82.4%). Anemo-meteochoric species with small diaspores were predominantly dwarf shrubs (39.7%) such as *Haloxylon* sp. Barochory mode was over-represented in Fabids (62.9%) and anemometeochoy was predominant in Campanulids (76.5%). Semachory was predominant in Commelinids (82.4%). Restricted dispersal was the most common in all APG IV except for Campanulids. Restricted dispersal was over-represented in herbaceous species such as Tussocks (91.4%). Dispersal by biotic vectors was prevalent in trees (64.3%), while dispersal by abiotic vectors was over-represented in shrubs (47.3%). Dispersal by biotic vectors was mainly associated with Sudano-Decanian species (56.8%), which are species forming part of Saharan-African vegetation in the study area.

In the hyper-arid hot desert of UAE, the average of the diaspore size in the studied species and the dispersal spectra are coincided with those reported in other arid regions of the world but with particularities due to the presence of African floristic elements. In UAE, the small diaspores were common which have the ability to fall into soil cracks and avoid detection by predators and consequently help them to form a long-lived soil seed bank in the desert, which enable species survival under the heterogeneous and unpredictable desert conditions. The main dispersal mode is semachory which help the seeds to stay in the safe sites, near the mother plants which ensures seedling establishment. Most semachoric species were herbaceous plants, which is consistent with the results found in other desert ecosystem. Savanna trees such as *Acacia*, *Prosopis* and *Ziziphus* sp. are barochoric species that produce large diaspores secondarily dispersed by vertebrates. Graminoids such as *Stipa* sp. and *Stipagrostis* sp., without structures for long-distance dispersal had diaspore appendages acted as "active drills" in soil cracks. Most species dispersed in dry season which coincided with

the other arid region from the world. Dry season favours the efficient dispersion by the wind for the small shrub species with haired capsule (e.g., *Aerva javanica*), winged calyx (e.g., *Astragalus squarrosus*) or wings (e.g., *Tribulus qatarensis*). Dispersal mechanisms can be associated with climatic factors (e.g., water availability) which could affect seedling establishment in hyper-arid hot deserts. About 25.0% of species disperse in the rainy season and they are mainly Sudano-Decanian barochoric species (Afro-Arabian species). Species dispersal throughout the year indicates an important seed resource e.g., barochoric species with fleshy fruits or pods with nutrient structures (e.g., *Senna italica* and *Indigofera* sp.). In general, species that disperse their diaspore throughout the year have lower dormancy and can germinate under restricted conditions. In general, diaspore characteristics were closely related to phylogeny, dispersal modes and growth forms and these characteristics allowed the plants to adapt to extreme hot desert environments.

Chapter 2: Seed mass and germination traits relationships among different plant growth forms with aerial seed bank in the hyper-arid hot desert of the United Arab Emirates (UAE)

Seed size (seed mass), growth forms, germination requirements and dispersal syndromes are among main plant life cycle traits that would affect community structure. Seed dormancy is an adaptation adopted by many plant species, especially in unpredictable heterogeneous environments, such as arid deserts. Dormancy delay seed germination until the arrival of favourable conditions that allow seedling establishment and minimize seedling mortality. Seed size might affect light requirements during germination where large seeds of many species germinate in both light and darkness, small seeds require light for germination. In deserts, germination of many plants occurs only when the particular combinations of light, temperature and soil moisture are optimal for plant growth. There are no clear relationships between seed size and dormancy which might be attributed to different environmental and developmental constraints that affect seed development in different growth forms and habitat types. Fewer studies assessed the relationship between seed size and germination level among different growth forms. In general, seed mass and growth forms can affect dispersal mode, seed storage place and consequently could determine site and fate of emerged seedling. we assessed the relationship between plant growth forms, place of seed storage (storage condition), and seed mass and light and temperature requirements during germination of 23

desert plants with an aerial seed bank in the hyper-arid hot desert (subtropical hot desert) from UAE.

Seeds of 23 species with aerial seed bank were used in this study. The 23 studied species had aerial seed bank with seeds stored after maturation either on mother plants (14 species) or on soil surface (9 species). The species represented three growth forms (six herbaceous, 11 small shrubs and six trees). For each species, the average seed mass (100 seeds, three replicates) and average seed size (length of 50 seeds). Mature seeds of the 23 species were collected during May - June 2015 from four habitats in the northern Emirates of UAE. In order to assess the effect of field storage, seeds of the same species were collected in February 2016 from either mother plants or soil surface. Seeds of May - June 2015 collection were divided into two parts; one part was germinated immediately after collection (fresh seeds) and the second part was stored in brown paper bags at room temperatures (20 ± 2 °C) until their germination in February 2016 (room temperature storage). Fresh and both field and room temperature-stored seeds were germinated in three growth chambers adjusted to three temperatures of 15/25 °C, 20/30 °C and 25/35 °C and two light regimes (12h light / 12h darkness). One-way analysis of variance (ANOVA) was used to assess the effects of different factors (e.g., growth form, seed storage, and light and temperature of incubation) of final germination, RLG (relative light germination) and GRI (germination rate index). Pearson correlation coefficients were used to assess the significance of the relationship between seed mass, and final germination, RLG and GRI. All statistical methods were performed using SYSTAT 13.

The species of trees growth form had significantly larger and heavier seeds (mean: 0.62 cm and 8.64 g). The overall germination of seeds of trees (46.0%), herbaceous seeds (42.6%) and shrubs (23.0%). Overall germination in light (40.3%) was greater than it in darkness (29.0%). The germination was greater at moderate temperatures (20/30 °C: 36.0%) than at higher temperatures (25/35 °C: 33.2%). Generally, in herbaceous plants, germination was significantly greater in light than in dark in seeds stored at different conditions. Room temperature storage improved final germination more than the other storage conditions (fresh and field). Germination of fresh and room temperature-stored seeds of herbaceous plants was significantly greater in light compared to that of the other two growth forms. Germination of field-stored seeds of trees was significantly greater in both light and dark than it in the other

two growth forms. In trees, field-stored seeds germinated faster than both fresh and room temperature-stored seeds. In both herbaceous and shrubs species, room temperature seeds germinated faster than fresh and field-stored seeds. In general, the large-seeded species germinated better in dark and opposite condition with light. In herbaceous plants, however, large-seeded species germinated better in both light and darkness. In shrubs, small-seeded species had good germination in both light and darkness and large seeds germinate mainly in light. In trees, small-seeded species had higher dormancy in dark and lower dormancy in light. Germination rate index was greater for seeds of herbs and trees more than shrubs. The germination speed was faster for bigger seeds of herbs but the reverse was true for the seeds of trees.

It clears that in studied plant species, growth form, seed size and storage condition can affect light, but not temperature requirement. The large-seeded herbs germinated better than small-seeded ones. Therefore, smaller seeds of herbs contribute more to soil seed bank and consequently distribute the risk of germination along time. The result of the large seeds of shrubs germinated mainly in light is these seeds should be dispersed away from the canopies of the mother plants. The field storage improved germination of seeds of trees, the presence of large seeds of the trees on soil surface or on mother plant would help them in breaking down their physical dormancy by diurnal fluctuations in day and night moisture and temperatures in addition to sand drift scarification. Interestingly, room temperature storage improved germination of herbaceous seeds in light. Room temperatures could mimic the natural conditions under litters and dead plants.

Chapter 3: Delayed seed dispersal in the hyper-arid hot desert of the United Arab Emirates (UAE)

Bradychory (delayed seed dispersal) is adaption through which plants retain their mature seeds within the mother canopy and delay their dispersal for varying period of times. Therefore, bradychory is suggested to replace serotiny and bradyspory terms in the field of dispersal. Bradychory provides seeds with protection from predators (granivores) and/or abiotic stresses, such as heat, drought, fire, lack of nutrients. In addition, in several species, the bradychory delays seed release from the mother plants until arrival of favourable conditions for seed germination and seedling establishment. Around the 1200 bradychoric species (belong to 40 genera) have been identified in different regions across the world such

as Mediterranean, south-western Australia, South Africa, North America regions and arid deserts. It has been documented that the bradychory is associated with specific plant traits, such as seed dispersal (e.g., spatial dispersal), antitelechoric mechanisms (e.g., myxospermy and synaptospermy) and plant life traits. In the desert of the Arabian Peninsula, there are no studies assessed the presence of the bradychory. The aims of this study are: (1) to identify the bradychoric species in the UAE Flora; (2) to assess the relationships among bradychory, growth forms, plant habits, spatial dispersal and antitelechoric mechanisms.

The incidence of bradychory was assessed in 307 species in several field trips covered growing seasons (May 2014 - October 2016) in four inland habitats (gravel plains, mountains, salt flats and sand sheets) in the hyper-arid hot desert of UAE. The selected species cover the most common and some rare perennial species that characterize the vegetation of the UAE. Voucher specimens of studied species were kept in the Sharjah Seed Bank and Herbarium (Sharjah Research Academy). The species was identified as bradychoric when the seeds are retained on mother plant for more than six months. Bradychoric species were classified into groups on the basis of the morphological structures that retain the diaspores (seeds or fruits) on the plants, dispersal characteristics, diaspore traits and growth season. The relationships between the bradychory and habitat types, growth forms, plant habits, spatial dispersal, time of seed release and antitelechoric mechanisms (myxospermy, synaptospermy and trypanocarpy) were assessed. Relationships between the traits were assessed with Pearson Chi-square tests and a nonlinear principal component analysis (NLPCA). All statistical analyses were performed by using SPSS 14 and SYSTAT 13. We classified bradychoric species into six groups: basicarpic species, species with persistent fruits, gradually open capsules species, species with schizocarpic fruits and species with persistent lignified fruits.

A total of 46 species were recorded to adopt the bradychory (15.0% of 307 studied species). Fabaceae family had the highest number of bradychoric plants (17.4%). The dominant bradychoric group was species with persistent fruits (28.3%) and species with schizocarpic fruits was the least represented one (6.5%). Dwarf shrubs and herbs were the two growth forms with more bradychoric species (39.1% and 23.9%, respectively).

Bradychory was associated with restricted dispersal (67.4%). Basicarpic species (8 species), gradually open capsules species and species with lignified persistent fruits (9 species each

one) were restricted dispersal species, while as schizocarpic species were spatial dispersal by abiotic vectors. Bradychory was over represented in perennials species (60.9%). All graminoids species retain their seeds in persistent lignified fruits and 63.0% of the annual species were basicarpics and all basicarpic species were prostrates. Bradychory was strongly related with synaptospermy and all species with persistent fruits were synaptospermics. The main seed release time for bradychoric species was in the dry season, particularly for species with persistent and schizocarpic fruits. Sandy habitats had the highest number of bradychoric species (54.3%), whereas salt flats had the lowest (23.9%). All bradychoric types were represented in all habitats, except for species with persistent lignified fruits and schizocarpic fruits which were not present in salt flats.

In the hyper-arid hot desert of UAE, the presence of bradychory is lower than it in the arid Mediterranean vegetation (e.g., SE Spain semi-arid shrublands vegetation) but it coincided with the other arid region such as central Namib Desert. In the UAE, the rainfall is temporally unpredictable and usually restricted to short season. About 46.0% of bradychoric species dispersed their seeds in the dry season, which was explained in the light of the lower activity of granivores during that time of the year. In addition, the diurnal fluctuation in moisture and temperatures in the dry seasons would help in breaking seed dormancy. In UAE deserts, if seeds dispersed and germinated in response to ineffective rainfall they might die before reaching the next seasons. There was 54.3% of bradychoric species present in sandy sheets habitats, in which sand drifts by winds are a major problem that would bury seeds and seedling deep in the soil. Therefore, delaying seed dispersal would postpone seed germination till the end of windy seasons. Interestingly, many of the bradychoric species on sand dunes had erect habit that can adapt the sand burial on active sand dunes. All the recorded bradychoric species in salt flats habitats had restricted spatial dispersal which reflects the spatial adaptation of the halophytes to survive only in a very specific habitat type. The presence of different bradychoric species groups represents different types of survival adaptation in the arid deserts of the UAE. The bradychoric species group with persistent fruits were predominantly synaptospermics, which would improve seedling establishment and reduce diaspore losses through ant predation. Basicarpic species group was overspread in all studied habitats of the UAE. The basicarpy provide anchorage against surface run-off and protect diaspore from predators. In our results, basicarpic species group includes annual and

prostrate species, which agree with the results of other studies, such as Negev Deserts and in Mojave and Sonoran deserts in California.

Chapter 4: Effect of maturation time on dormancy and germination of *Citrullus colocynthis* (Cucurbitaceae) seeds from the hyper-arid hot desert of United Arab Emirates (UAE)

Environmental conditions prevailing at seed maturation time can affect dormancy and germination requirements. Many desert plants produce seeds with different types and levels of dormancy that could only be broken once they are exposed to proper environmental signals. It has been reported that environmentally induced parental effects can influence the phenotypic expression of morphological, physiological, and several life cycle traits in plants. For example, seeds matured at different seasons have different temperature and light requirements during germination. Several studies have reported that autumn or winter-matured seeds germinated significantly greater at higher temperatures and in continuous light, compared to spring- or summer-matured seeds. The seasonal timing of seed maturation and dispersal can in turn determine the season of seed germination and germination rate and consequently the overall life cycle. Photoperiod and light quality prevailing during seed maturation can affect seed dormancy and subsequent germination in several species. In general, germinability is promoted with short day regimes in several species. Temperature is another very important factor experienced during seed maturation that affects seed dormancy. In several species, seeds produced at higher temperatures have lower dormancy. Light and temperatures of germination greatly affect germination of several Cucurbitaceae species. *Citrullus colocynthis* (L.) Schrad., (Cucurbitaceae) is a perennial prostrate small shrub grows all over the year in the arid Arabian deserts. This species has many medicinal benefits including diabetes type I. In addition, *C. colocynthis* produces big amount of oily seeds that could be converted to low cost biodiesel. Many studies reported that, *C. colocynthis* seeds had a deep dormancy. In our study, we explored if seed dormancy and germination requirements of *C. colocynthis* depended on time of fruit collection and assessed the factors that might trigger germination, such as light and temperature, in hyper-arid hot deserts of United Arab Emirates (UAE). In addition, the impact of different treatments, such as dry storage, soaking in water and physical scarification on dormancy breakage and germination requirements of some seeds lot.

Matured seeds were collected at five different times during 2014 - 2015 (mid of October and December 2014, early March, and mid of April and June 2015) from a wild population of *C. colocynthis* growing around Dubai city, north of the UAE. For each collection, the average seed mass, average seed length, width and height, and seed coat thickness were determined. Seeds of March and December were stored in brown paper bags at room temperature for one year (room temperature storage). Fresh and room temperature stored

seeds were germinated at three temperature regimes (15/25 °C, 20/30 °C and 25/35 °C) in both continuous darkness and alternating 12h light / 12h darkness. Impacts of soaking in water and physical scarification on germination were applied on seeds collected in March which exhibited deep dormancy. The One-way analysis of variance (ANOVA) was used to assess the significance of the main factors (e.g., collection time, temperature and light of incubation and storage condition) on final germination and germination rate index (GRI). Pearson correlation coefficient (r) was used to assess the significance of the relationship between germination and different seed traits (e.g., seed length, mass and seed coat thickness). All statistical methods were performed using SYSTAT 13.

March collected seeds did not germinate at all in both light and dark at the three temperatures. The overall seed germination of December collection (74.0%) was greater than seeds collected in April, June and October (52.0%, 27.8% and 36.7%, respectively). The germination increased with the increase in incubation temperature (15/25 °C: 13.6%, 20/30 °C: 38.4% and 25/35 °C: 44.0%) and was greater in dark (38.0%) than in light (26.0%). At the lowest temperatures (15/25 °C), seeds of all collections did not germinate in light and seeds of April collection didn't germinate in dark, but those of June, October and December collections germinated in dark. Interestingly, for December collection, germination reached almost 100.0% of total seeds at 25/35 °C in light but reached to the same level at 15/25 °C in dark. These results indicate that germination in light requires higher temperatures, but germination in darkness might be independent on temperature regime and depends more on the time of seed collection. Germination of all seed collections was significantly faster at 25/35 °C than at 20/30 °C. There were negative correlations between final germination and seed length, width, mass and coat thickness whereas seeds of March and June are bigger, heavier and with thicker seed coat but attained significantly lower germination. Physical

scarification, water soaking and seed storage did not break dormancy of March collection. In general, storage resulted in the reduction of the germination (47.8% from 73.8%). In dark, germination of the stored seeds was reduced at 15/25 °C (39.0% from 100.0%) and 25/35 °C (28.0% from 82.0%), compared to that of fresh seeds. Also, in light, germination was significantly greater in fresh (70.0%), compared to stored seeds (31.0%), at 20/30 °C. The germination behavior of seeds of *C. colocynthis* was very sensitive to light and temperature of incubation and time of seed maturation. These results are consistent with those reported in many species of Cucurbitaceae family, in which seeds germinated only at warm temperatures. In addition, many species of the Cucurbitaceae are negatively photoblastic; e.g., their germination is inhibited in light. The ability of seeds of the different collections, except March and April, to germinate in dark indicates that temperature requirement has a phylogenetic basis as well as motherly induced effect. Several studies have reported that longer day length during seed development produce thicker, harder seed coat structure that reduced seed germination of several species. In *C. colocynthis*, seed coat thickness could not explain the variation in germination; seeds matured during shortest days (December, thinner coat) as well as longest days (April, June and October) attained higher germination. In *C. colocynthis*, seeds collected in March didn't germinate at all which developed and matured at cooler temperatures. This indicates that lower temperature might be responsible for greater dormancy. Storage of December seeds resulted in a significant reduction in the dark germination at both low and high temperatures which indicates that storage didn't affect seed viability but might have changed phytochrome sensitivity in dark. Some studies attribute the total, dormant seeds and not responded to any treatments of *C. colocynthis* to the presence of an inner seed membrane and these might be coincided with our study whereas neither physical scarification nor water soaking and their combination succeeded to stimulate the germination of dormant seeds of March collection.

RESUMEN

La Península de Arabia comprende los siete países del Golfo de Arabia (Golfo Pérsico): Bahrein, Kuwait, Omán, Qatar, Arabia Saudita, Emiratos Árabes Unidos (EAU) y Yemen. Los EAU se sitúan en la parte noreste de la Península de Arabia, entre las latitudes 22° 40' y 26° 00' Norte y las longitudes 51° 00' y 56° 00' Este. Los Emiratos Árabes Unidos cubren una superficie total de 83.600 Km² y están compuestos por siete Emiratos: Abu

Dhabi, Dubai, Sharjah, Ras Al Khaimah, Fujairah, Ajman y Umm Al Quwain. La mayor parte de los Emiratos Árabes Unidos es un desierto con predominio del sistema de relieve terrestre eólico. Las características geomorfológicas de los EAU incluyen montañas, llanuras de grava, llanuras de arena fija y planicies salinas. El desierto arenoso cubre más del 90% de la superficie del país. La mayor parte del desierto arenoso se caracteriza por la presencia de dunas de arena que se elevan gradualmente desde la planicie costera alcanzando elevaciones de hasta 250 m sobre el nivel del mar (asl). Las regiones montañosas de los Emiratos Árabes Unidos consisten en cadenas montañosas norte-sur paralelas a la costa este. La lluvia en la Península de Arabia es errática e impredecible en tiempo y cantidad. En algunos años, ciertas áreas pueden no recibir lluvia. Los EAU son un ecosistema desértico cálido e hiper árido (desierto cálido subtropical) que tiene dos estaciones principales: un verano caluroso (de abril a octubre) y un invierno templado (de noviembre a marzo). La lluvia cae principalmente en la temporada de invierno con la máxima intensidad durante febrero y marzo. La precipitación media anual es de aproximadamente 110 mm con una variabilidad extrema en el espacio y el tiempo. Abu Dhabi (emiratos del sur con hábitat arenoso) recibe la precipitación anual más baja (alrededor de 45 mm/año). La precipitación anual más alta encontrada en la región montañosa del noreste del país oscila entre 125.6 y 172 mm/año. La temperatura promedio anual es de aproximadamente 27 °C y la humedad del 45.0%. En el invierno, la temperatura media es de alrededor de 20 °C, mientras que la temperatura media del verano oscila entre 35 - 40 °C. Además, la humedad puede alcanzar más del 90.0%.

La flora de los EAU comprende c. 830 especies. Las especies de los EAU tienen adaptaciones fisiológicas y morfológicas específicas para sobrevivir en las duras condiciones ambientales. Curiosamente, el área de montañas que ocupa solo el 10.0% del área total de los EAU y recibe la mayor cantidad de lluvia tiene más del 50.0% del total de las especies de plantas identificadas. Los EAU tienen cuatro ecosistemas de vegetación; región costera que se caracteriza por la vegetación de manglares compuesta por *Avicennia marina* y las comunidades de plantas halófitas. Las regiones desérticas ocupan la mayor parte de la superficie terrestre del país. Estas regiones desérticas incluyen dos áreas: dunas occidentales dominadas por *Cyperus conglomeratus* y *Haloxylon salicornicum*, desierto central dominado por *Citrullus colocynthis* y *Stipagrostis plumosa*. La región montañosa corresponde a la serie de montañas Hajar que se extiende desde los EAU hasta Omán, dominado por *Euphorbia*

larica, *Pulicaria glutinosa* y *Ochradenus aucheri*. La región llanuras aluviales dominadas por algunas especies como *Aerva javanica*, *Asphodelus tenuifolius* and *Tephrosia apollinea*.

En climas extremos de zonas áridas y desérticas, como los EAU, las comunidades de plantas no suelen tener una cubierta de dosel cerrada. Además, las condiciones adecuadas para el crecimiento a menudo se restringen a pequeños micro-hábitats. Cada especie de planta del desierto tiene su propia estrategia de supervivencia que le permite persistir en un determinado hábitat del desierto en el que exhibe un conjunto de adaptaciones durante las diferentes etapas de su ciclo de vida. Esto permite que la especie sobreviva a pesar de la presencia de factores bióticos selectivos (por ejemplo, consumo de semillas) y factores abióticos (lluvia impredecible en tiempo y cantidad).

La diversidad funcional de las plantas puede definirse como el tipo, nivel y abundancia relativa de los caracteres funcionales que están presentes en una comunidad. Los caracteres funcionales de las plantas son características morfológicas, fisiológicas y fenológicas que representan estrategias ecológicas para determinar cómo las especies de plantas se adaptan a los factores ambientales. Los caracteres como el tamaño de la planta (e.g., altura) y el tamaño de la semilla (e.g., longitud/masa de la semilla) son caracteres funcionales estandarizados clave utilizados para todos los estudios ecológicos.

Los caracteres vegetativos comprenden la altura de planta, ciclo de vida y forma de crecimiento. La altura de la planta está asociada con la forma de crecimiento y el vigor competitivo. Se reconocen dos tipos principales de ciclos de vida; la especie anual (la especie muere en una temporada de crecimiento) y la perenne (una especie que crece durante más de dos estaciones). En ecosistemas áridos y desérticos, las especies anuales son comunes. La forma de crecimiento está determinada principalmente por la estructura y la altura del dosel. La forma de crecimiento reconoce entre las plantas herbáceas; las de roseta basal, semi-basal, las carentes de roseta que presentan hojas a lo largo de un tallo erecto y las gramínoideas, entre las leñosas se distinguen; los arbustos pequeños, arbustos grandes y árboles.

Los caracteres regenerativos (reproductivos) incluyen el tamaño (peso) de la semilla y su dispersión. La dispersión es la salida de la diáspora (propágulos) (semillas o frutos) de la planta madre. La dispersión es un proceso crucial para las plantas ya que conecta el final del ciclo reproductivo de las plantas adultas con el establecimiento de las plántulas (descendencia). La dispersión permite a las plantas evitar la competencia con la planta madre

y con otras plántulas y la depredación por parte de los animales. La dispersión espacial (dispersión en el espacio) se presenta en dos tipos principales: a) Las especies que tienen diásporas equipadas con estructuras que facilitan el movimiento de la diáspora (dispersión espacial desarrollada), que pueden dividirse en aquellas dispersadas por medio de vectores abióticos, como el viento y los vectores bióticos como por ejemplo los vertebrados y aves, y b) Las especies cuyas diásporas carecen de estructuras que facilitan la dispersión espacial (dispersión espacial restringida). La dispersión espacial restringida es la que predomina en los desiertos ya que las áreas adecuadas para el crecimiento (es decir, los sitios seguros generalmente están ya ocupados con las plantas madres). Entre los modos de dispersión podemos distinguir; barocoría (el uso de gravedad de la planta para la dispersión), la dispersión por medio del viento (anemo-meteocoría) es uno de los medios más primitivos de dispersión. La dispersión por medio del viento puede tomar una de las dos formas principales: las semillas pueden flotar o, alternativamente, pueden aletear hacia el suelo. Los ejemplos clásicos de estos mecanismos de dispersión, en el hemisferio norte templado, incluyen por ejemplo los "dientes de león", que tienen una semilla plumosa (pappus). Los animales pueden dispersar las semillas de las plantas de varias maneras, todas llamadas zoocoría. Las semillas pueden ser transportadas en el exterior de animales vertebrados (principalmente mamíferos), un proceso conocido como epizoocoría. La dispersión de semillas a través de la ingestión de animales vertebrados (principalmente aves y mamíferos), o endozoocoría, es el mecanismo de dispersión para la mayoría de las especies de árboles y arbustos grandes. Semacoría cuando las plantas dispersan su semilla sin ayuda de un vector externo, como resultado esto limita considerablemente a las plantas en cuanto a la distancia que pueden dispersar su semilla. En el modo dispersión ombro-hidrocoro, la planta dispersa por el efecto de la lluvia y / o el rocío. Por último, la dispersión balística es un tipo de dispersión donde la semilla es expulsada con fuerza por la dehiscencia explosiva del fruto. La masa de semillas "conocida como tamaño de la semilla" es uno de los caracteres más importantes que influyen en el ciclo de vida de la planta desde la dispersión de la semilla, germinación, emergencia, supervivencia y establecimiento de las plántulas. En general, las semillas grandes producen plántulas más grandes y más fuertes con una mejor capacidad competitiva con plántulas más pequeñas, especialmente en entornos con recursos limitados, como los desiertos. En los desiertos áridos, algunas especies anuales producen

diminutas semillas similares al polvo que el viento dispersa después de su maduración. Estas especies adoptan la estrategia de escape cayendo en grietas debajo de la superficie del suelo y se convierten en parte de los bancos de semillas del suelo de larga duración.

El mecanismo que previene la dispersión a larga distancia llamado "antitelecoría" se considera una forma de dispersión espacial restringida. Los mecanismos antitelecoricos son respuestas adaptativas a la alta mortalidad de las diásporas en los desiertos ayudando a la diáspora a implantarse en los mismos sitios de la planta madre. Los mecanismos antitelecoricos tienen sinaptospermia, mixospermia y tripanospermia. La sinaptospermia es la que más de una semilla es dispersada en una sola unidad y siempre se asocia con ambientes áridos. Mixospermia, cuando la diáspora produce mucílago al ser expuesta a la humedad y que se asocia principalmente con ambientes áridos. La tripanospermia es un mecanismo de anclaje al suelo por los apéndices de la diáspora, que se entierra en el suelo en el punto de contacto inicial.

Bradicoria es una adaptación a través del cual las semillas maduras se retienen en el dosel de la planta y retrasa su dispersión por períodos de tiempo variables hasta que las condiciones son las adecuadas para la germinación y establecimiento de las plántulas. En los ecosistemas áridos y desérticos, las plantas desarrollan estrategias a través de la producción de plántulas que difieren en tiempo y lugar de germinación, así como a la tolerancia a las tensiones ambientales. La dormancia de las semillas mejora la supervivencia de las plántulas al evitar la germinación en condiciones desfavorables. El nivel y tipo de dormancia se puede determinar por los factores ambientales que prevalecen durante la maduración de la semilla en las plantas madres. Se sabe que los mecanismos para liberar la dormancia en condiciones ambientales adversas están influenciados por varios factores, como la temperatura y la luz alternas.

Capítulo 1: Caracteres de dispersión en el desierto hiper-árido de los Emiratos Árabes Unidos (EAU)

La dispersión de las plantas tiene un papel esencial en la colonización de nuevos hábitats, en la dinámica de poblaciones, en las interacciones entre especies, en la estructura de las comunidades vegetales y en la diversidad floral. El tamaño de la semilla (diáspora; semilla o fruto, también llamado propágulo) es un carácter ecológico importante para el establecimiento de las plántulas, la formación de un banco de semillas persistente y la

dispersión. Generalmente, las semillas grandes aumentan la posibilidad de supervivencia y establecimiento de las plántulas, mientras que las semillas pequeñas contribuyen más a formar un banco de semillas en el suelo bajo la planta madre. Las especies con semillas grandes son más propensas a ser dispersadas por los animales, mientras que las especies de semillas pequeñas son más propensas a tener dispersión de semillas no asistida. El espectro de dispersión es la distribución de frecuencia de los diferentes modos de dispersión en un determinado tipo de vegetación. Es sabido que la dispersión de semillas a larga distancia es menos frecuente en hábitats áridos y semiáridos que en hábitats templados, y que los caracteres que limitan la dispersión espacial de las semillas son más comunes en hábitats áridos y semiáridos. Esto significa que, la restricción de la dispersión espacial de las semillas, explica el origen y el mantenimiento de las manchas aisladas de vegetación en este tipo de hábitats. El tamaño de la semilla está correlacionado con el tiempo de floración y la fenología de dispersión. En los desiertos calientes hiper-áridos, los eventos fenológicos se relacionan principalmente con la cantidad y tiempo de la precipitación anual y la humedad del suelo. Actualmente, en el desierto de Arabia no existen estudios que evalúen los caracteres de dispersión ni la fenología de dispersión de especies vegetales. El estudio que se incluye en este capítulo describe los caracteres de dispersión de las especies más comunes en cinco hábitats de interior del desierto de los EAU, determinando la relación entre el tamaño de diásporas (longitud de semillas y frutos) y las formas de crecimiento de las especies, la dispersión espacial, los modos de dispersión, los grupos taxonómicos filogenéticos APG IV, la fitogeografía de las especies y la fenología de dispersión.

El muestreo de campo y las observaciones fenológicas se llevaron a cabo mensualmente entre mayo de 2014 y octubre de 2016. Cinco hábitats diferentes se representaron en este estudio; salinas, llanuras de grava, planicies de arena, montañas y altas montañas. Se tomaron muestras de treinta cuadrantes por hábitat que representan un total de 150 cuadrantes. El tamaño del cuadrante fue de 200 m², en cada cuadrante se estimó la abundancia de la especie de acuerdo con la escala 'Braun-Blanquet'. Las especies estudiadas son las especies más comunes y algunas especies raras que caracterizan la vegetación de los Emiratos Árabes Unidos. Los especímenes testimonios de las especies estudiadas se depositaron en el Sharjah Seed Bank and Herbarium (Sharjah Research Academy, Sharjah).

Se estudiaron siete caracteres de dispersión: (1) modo de dispersión, que incluye anemometeocoría, ombro-hidrocoría, semacoría, dispersión balística y barocoría, (2) tamaño de diáspora (longitud de la diáspora), (3) unidad de dispersión (fruto o semilla), (4) presencia de estructuras que facilitan la dispersión a larga distancia (dispersión espacial), (5) apéndices de la diáspora, (6) color de diáspora y (7) fenología de dispersión. El análisis de varianza unidireccional (ANOVA) y el estadístico de prueba Pearson χ^2 se utilizaron para analizar la relación entre el tamaño de diáspora y los otros caracteres, así como la asociación entre caracteres nominales, se utilizó como programa de análisis estadístico SPSS 14 y SYSTAT 13.

Se estudiaron un total de 302 especies pertenecientes a 51 familias y 192 géneros. Fabaceae, Asteraceae y Poaceae (12.6%, 9.9% y 9.6%, respectivamente) fueron las familias más ricas en número de especies. De los ocho grupos filogenéticos APG IV; Fabidas y Asteridas Basales fueron los predominantes (22.2% y 20.5%, respectivamente). De entre las formas de crecimiento, los arbustos pequeños (41.1%) fueron dominantes. Los frutos (69.7%) fueron la unidad de dispersión dominante. Las diásporas pequeñas fueron predominantes reconociéndose seis órdenes de magnitud de 10^{-4} a 10^2 , variando desde 0.02 cm (*Sporobolus spicatus*) hasta 19.5 cm (*Prosopis juliflora*). Las especies que carecen de estructuras para la dispersión a larga distancia (dispersión espacial restringida) fueron las más representadas (58.6%). El modo de dispersión dominante fue semacoría (43.7%) seguido por anemometeocoría (28.8%) y barocoría (23.8%). La mayoría de las especies estudiadas (64.2%) se dispersaron en la estación seca (esencialmente de abril a octubre). Las diásporas de mayor tamaño corresponden a las especies incluidas en el grupo filogenético APG IV de Fabidas y Malvidas (tamaño medio: 1.8 cm y 0.9 cm, respectivamente) y las menores en Commelinidas (tamaño medio: 0.30 cm). Los árboles presentan las diásporas más grandes (tamaño medio: 3.9 cm), mientras que las matas las más pequeñas (tamaño medio: 0.3 cm). Las especies barocóricas (tamaño medio: 1.8 cm) fueron las de diásporas más grandes, mientras que las semacóricas (tamaño medio: 0.4 cm) fueron las más pequeñas. Las especies dispersadas por vectores bióticos (tamaño medio: 2.9 cm) fueron las de diásporas más grandes. La barocoría fue predominante en los árboles (71.0%), la semacórica en las especies herbáceas gramínoideas (82.4%) y las especies anemo-meteocóricas, con diásporas pequeñas, fueron

predominantes en arbustos pequeños (39.7%) (e.g., *Haloxylon* sp). La dispersión barocórica fue predominante en Fabidas (62.9%), la anemo-meteocoría en Campanulidas (76.5%) y la semacoría en Commelinidas (82.4%). La dispersión espacial restringida fue la más común en todos los grupos taxonómico-filogenéticos de APG IV excepto para las Campanulidas. La dispersión restringida fue predominante en especies herbáceas gramínoideas (91.4%). La dispersión por vectores bióticos fue más frecuente en los árboles (64.3%), mientras que la dispersión por vectores abióticos lo fue en los arbustos (47.3%). La dispersión por vectores bióticos se asoció principalmente con las especies con distribución fitogeografía Sudanodecaniana (56.8%), que son especies que forman parte de la vegetación sahara-africana representadas en el área de estudio.

En el desierto hiper-árido de los EAU, el promedio del tamaño de las diásporas de las especies estudiadas y el espectro de dispersión coinciden con los descritos en otras regiones áridas del mundo, pero con particularidades propias debidas a la presencia de elementos florísticos Sudano-decánicos (africanos). En los EAU, las diásporas pequeñas son comunes lo cual facilita su capacidad de caer en las grietas del suelo evitando ser detectadas por los depredadores y formando un banco de semillas en el suelo de larga duración, lo que permite la supervivencia de especies en las condiciones heterogéneas e impredecibles del desierto. El principal modo de dispersión es la semacoría, que ayuda a las semillas a permanecer en sitios seguros, cerca de las plantas madres, lo que garantiza el establecimiento de plántulas. La mayoría de las especies semacóricas son plantas herbáceas, lo cual es consistente con los resultados encontrados en otros ecosistemas áridos y desérticos. Los árboles de la sabana, como las especies de *Acacia*, *Prosopis* y *Ziziphus*, son especies barocóricas que producen diásporas grandes dispersadas secundariamente por vertebrados. Las diásporas de las especies gramínoideas de los géneros *Stipa* y *Stipagrostis* están provistas de mucrones y apéndices que facilitan su incrustación en las grietas del suelo cerca de la planta madre que las ha producido. La mayoría de las especies dispersan en la estación seca, como ocurre en otras regiones áridas del mundo. La estación seca favorece la dispersión eficiente por el viento para los arbustos pequeños que poseen frutos provistos de pelos u otras estructuras que facilitan su flotabilidad, por ejemplo, la capsula algodonosa de *Aerva javanica*, el cáliz alado de *Astragalus squarrosus* o la capsula alada de *Tribulus qatariensis*. Los mecanismos de

dispersión pueden asociarse con factores climáticos (por ejemplo, disponibilidad de agua) que pueden afectar el establecimiento de las plántulas en el desierto hiper-árido. Alrededor del 25.0% de las especies se dispersan en las estaciones lluviosas y son principalmente especies barocóricas sudano-decanianas. La dispersión de especies a lo largo del año indica un importante recurso de semillas, por ejemplo, las especies barocóricas con frutos carnosos o con vainas con estructuras nutritivas (e.g., *Senna italica* e *Indigofera* sp.). En general, las especies que dispersan su diáspora a lo largo del año tienen menor dormancia y pueden germinar en condiciones restringidas. En general, las características de las diásporas están estrechamente relacionadas con la filogenia, los modos de dispersión y las formas de crecimiento, y estas características permiten las plantas adaptarse a los ambientes extremadamente cálidos y áridos del desierto.

Capítulo 2: Masa de la semilla, requisitos de germinación y su relación con la forma de crecimiento de las plantas con banco de semillas aéreo en el desierto hiperárido de los Emiratos Árabes Unidos (EAU)

El tamaño de la semilla (masa de la semilla), las formas de crecimiento, los requisitos de germinación y los síndromes de dispersión se encuentran entre los principales caracteres de las plantas que afectarían a la estructura de las comunidades vegetales. La dormancia de las semillas es una adaptación adoptada por muchas especies de plantas, especialmente en ambientes heterogéneos e impredecibles, como los desiertos áridos. La dormancia retrasa la germinación de la semilla hasta la llegada de condiciones favorables que permiten el establecimiento de las plántulas y minimizan su mortalidad. El tamaño de la semilla puede estar relacionado con el requerimiento de luz durante la germinación. Las semillas grandes de muchas especies germinan tanto en la luz como en la oscuridad, mientras que las semillas pequeñas requieren luz para la germinación. En los desiertos, la germinación de muchas plantas ocurre solo cuando las combinaciones particulares de luz, temperatura y humedad del suelo son óptimas para el crecimiento de la planta. No existen relaciones claras entre el tamaño de la semilla y la dormancia, lo que puede atribuirse a diferentes limitaciones ambientales que afectan el desarrollo de semillas en diferentes formas de crecimiento y tipos de hábitats. Existen pocos estudios que evalúen la relación entre el tamaño de la semilla y el nivel de germinación para las diferentes formas de crecimiento de las plantas. En general, el tamaño de las semillas y las formas de crecimiento de las especies pueden afectar su modo de

dispersión, el lugar de almacenamiento de las semillas y, en consecuencia, pueden determinar el sitio y el destino de las plántulas. En este estudio se evaluamos la relación entre la forma de crecimiento de la planta, el lugar de almacenamiento de la semilla (condiciones de almacenamiento) y la masa de la semilla y los requisitos de luz y temperatura durante la germinación de 23 plantas del desierto de los Emiratos Árabes Unidos (EAU).

En este estudio se utilizaron semillas de 23 especies con banco de semillas aéreo y, o banco de semilla en el suelo (bajo la planta madre). En estas especies las semillas son almacenadas después de la maduración en la planta madre (14 especies) o en la superficie del suelo (9 especies). Las especies representan tres formas de crecimiento diferentes (6 herbáceas, 11 arbustos pequeños y 6 árboles). Para cada especie se midió la masa promedio de semillas (100 semillas, tres réplicas) y el tamaño promedio de las semillas (longitud de 50 semillas). Las semillas maduras de las 23 especies fueron recolectadas durante mayo-junio de 2015 en cuatro hábitats de los Emiratos Árabes Unidos. Con el fin de evaluar el efecto del almacenamiento en el campo (banco de semillas) (frutos maduros en tallos rastreros) las semillas de la misma especie se recolectaron en febrero de 2016 de plantas madre o de la superficie del suelo. Las semillas de la recolección de mayo-junio de 2015 se dividieron en dos partes; una parte se puso a germinar inmediatamente después de la recolección (semillas frescas) y la segunda parte se almacenó en bolsas de papel oscuro a temperatura ambiente (20 ± 2 °C) hasta su puesta a germinación en febrero de 2016 (almacenamiento a temperatura ambiente). Se pusieron a germinar semillas almacenadas y semillas frescas recolectadas en el campo a temperatura ambiente en tres cámaras de crecimiento ajustadas a tres temperaturas diferentes de 15/25 °C, 20/30 °C y 25/35 °C y bajo dos regímenes de luz diferentes (12h de luz / 12h de oscuridad). El análisis de varianza unidireccional (ANOVA) se utilizó para evaluar los efectos de los diferentes factores (e.g., forma de crecimiento, almacenamiento de semillas, requisitos de luz y de temperatura de incubación, de germinación final, de RLG (Germinación de Luz Relativa) y de GRI (Índice de Germinación). El coeficiente de correlación de Pearson (r) se utilizó para evaluar la relación entre el tamaño (masa) de la semilla y la germinación final, el RLG y el GRI. Todos los métodos estadísticos se realizaron usando SYSTAT 13.

Los resultados del estudio muestran que los árboles poseen semillas significativamente más grandes y pesadas (media: 0.62 cm y 8.64 g). La germinación total de

la semilla de los árboles fue de un 46.0%, respecto a las semillas de las especies herbáceas (42.6%) y de los arbustos (23.0%). La germinación a la luz fue de un 40.3% mayor que en la oscuridad (29.0%) y a temperaturas moderadas (20/30 °C, 36.0%) respecto a temperaturas más altas (25/35 °C, 33.2%). Para en las plantas herbáceas, la germinación fue significativamente mayor en la luz que en la oscuridad en las semillas almacenadas. El almacenamiento a temperatura ambiente mejoró la germinación final en todos los casos. La germinación de las semillas frescas y almacenadas a temperatura ambiente para las plantas herbáceas fue significativamente mayor a la luz en comparación con la de las otras dos formas de crecimiento. La germinación de las semillas almacenadas de los árboles fue significativamente mayor tanto en la luz como en la oscuridad respecto a las otras dos formas de crecimiento. En las especies herbáceas y arbustivas, las semillas almacenadas a temperatura ambiente germinaron más rápido que las semillas frescas (puestas a germinar directamente tras su recolección) y las semillas almacenadas. En general, las especies con semillas de mayor tamaño germinaron mejor en condiciones de oscuridad. En las plantas herbáceas, sin embargo, las especies con semillas de mayor tamaño germinaron mejor tanto en la luz como en la oscuridad. En los arbustos, las especies con semillas pequeñas tuvieron una buena germinación tanto en la luz como en la oscuridad y las especies con semillas grandes germinaron principalmente en la luz. En los árboles, las especies de semillas pequeñas tienen mayor dormancia en la oscuridad y menor en la luz. El índice de germinación (IRG) fue mayor para las semillas de hierbas y árboles que para los arbustos. La germinación fue más rápida para las semillas más grandes de hierbas, pero a la inversa en el caso de las semillas de los árboles.

En las especies estudiadas, la forma de crecimiento, el tamaño de la semilla y las condiciones de almacenamiento pueden afectar la germinación bajo luz, pero no bajo diferentes temperaturas. Las hierbas con semillas grandes germinaron mejor que las de semilla pequeña. Por lo tanto, las semillas más pequeñas de hierbas contribuyen más a formar un banco de semillas en el suelo bajo la planta madre y consecuentemente distribuyen el riesgo de germinación a lo largo del tiempo. Las semillas de arbustos grandes germinan principalmente a la luz dado que para las especies estudiadas son dispersadas lejos de la planta madre. El almacenamiento y variación en los requisitos de luz y temperatura mejoró la germinación de las semillas de los árboles que en condiciones naturales permanecen en el

suelo bajo el árbol o en la planta madre formando un banco de semillas sometido a las fluctuaciones diurnas de humedad y a las variaciones de temperatura diurnas y nocturnas que contribuyen romper su dormancia. El almacenamiento a temperatura ambiente mejoró la germinación de las semillas de las plantas herbáceas a la luz. La temperatura ambiente de las cámaras de germinación pueden imitar las condiciones naturales que se encuentran las semillas bajo la estructura persistente de las plantas herbáceas muertas tras la dispersión y cuyas semillas permanecen in situ bajo ellas.

Capítulo 3: Dispersión tardía de semillas en el desierto hiper-árido de los Emiratos

Árabes Unidos (EAU)

Bradycoria (dispersión tardía) es una adaptación a través de la cual las plantas retienen sus semillas maduras dentro del dosel de la planta madre y retrasan su dispersión por períodos variables de tiempo. Se utiliza el término bradycoria para reemplazar los términos de serotonina y bradisporia en el campo de la dispersión. La bradycoria proporciona a las semillas protección contra depredadores (granívoros) y / o estrés abiótico, como calor, sequía, fuego y falta de nutrientes. Además, en varias especies, la bradycoria retrasa la liberación de semilla de las plantas madres hasta la llegada de condiciones favorables para la germinación de la semilla y el establecimiento de plántulas. Alrededor de 1200 especies bradicóricas (pertenecientes a 40 géneros) han sido identificadas en diferentes regiones del mundo, como el Mediterráneo, el sudoeste de Australia, el sur de África, las regiones de América del Norte y los desiertos áridos. Se ha documentado que la bradycoria está asociada con caracteres vegetales específicos, tales como dispersión de semillas (por ejemplo, dispersión espacial), mecanismos antitelecóricos (por ejemplo, mixospermia y sinaptospermia) y caracteres de la forma de crecimiento de la planta. En el desierto de la Península de Arabia, no hay estudios que evalúen la presencia de la bradycoria. Los objetivos de este estudio son: (1) identificar las especies bradicóricas en la Flora de los EAU; (2) evaluar las relaciones entre bradycoria, formas de crecimiento, hábito de la planta, dispersión espacial y mecanismos antitelecóricos. La incidencia de bradycoria se observó en un total de 307 especies de mayo de 2014 a octubre de 2016 en cuatro hábitats interiores (llanuras de grava, montañas, salinas y planicies de arena) en el desértico desierto hiperárido de los Emiratos Árabes Unidos. Las especies seleccionadas representan las especies perennes más comunes y algunas especies raras que caracterizan la vegetación de los EAU. Se guardaron especímenes de testimonio de herbario

de las especies estudiadas en el Sharjah Seed Bank and Herbarium (Sharjah Research Academy). Una especie se identificó como bradicórica cuando las semillas se conservan en la planta madre durante más de seis meses. Se clasificaron las especies bradicóricas en grupos sobre la base de las estructuras morfológicas que retienen las diásporas (semillas o frutos) en las plantas, características de dispersión, rasgos de diásporas y temporada de crecimiento. Se evaluaron las relaciones entre el bradicoria y el tipo de hábitat, la forma de crecimiento, el habitó de la planta, la dispersión espacial, el tiempo de liberación de la semilla y los mecanismos antitelecóricos (mixospermia, sinaptospermia y tripanocarpia). Las relaciones entre los caracteres se evaluaron con pruebas de Pearson Chi-cuadrado y un análisis de Componentes Principales No Lineales (NLPCA). Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando SPSS 14 y SYSTAT 13. Los grupos de especies bradicóricas fueron los siguientes: especies basicárpicas, especies con frutos persistentes, especies que abren sus capsulas regularmente, especies con frutos esquizocárpicos y especies con frutos lignificados persistentes.

Se identificaron un total de 46 especies bradicóricas (15.0% de las 307 especies estudiadas). La familia Fabaceae tuvo el mayor número de representantes (17.4%). El grupo bradicórico dominante fueron las especies con frutos persistentes (28.3%), y las especie con esquizocarpos las menos representadas (6.5%). Los arbustos pequeños y las hierbas fueron las dos formas de crecimiento con más especies bradicóricas (39.1% y 23.9%, respectivamente). La bradicoria se asoció con una dispersión espacial restringida (67.4%). Las especies basicárpicas (8 especies), las especies que abren gradualmente sus cápsulas y las especies con frutos lignificados persistentes (9 especies para cada uno) presentaron dispersión espacial restringida, mientras que como especies esquizocárpicas presentaron dispersión espacial por vectores abióticos. La bradicoria estuvo sobre representada en las especies perennes (60.9%). Todas las especies de gramínoideas retienen su semilla en frutos lignificados persistentes y el 63.0% de las especies anuales fueron basicárpicas y todas las especies basicárpicas fueron postradas. La bradicoria está estrechamente relacionada con la sinaptospermia, siendo todas las especies con frutos persistentes sinaptosperómicas. La estación de liberación de la semilla para las especies bradicóricas fue en la estación seca, particularmente para especies con frutos persistentes y esquizocarpos. Los hábitats arenosos tienen el mayor número de especies bradicóricas (54.3%), mientras que las salinas tienen las

más bajas (23.9%). Las especies bradicóricas están representadas en todos los hábitats, a excepción de las especies con frutos persistentes lignificados y frutos esquizocárpicos que no están presentes en las salinas.

En el desierto hiper-árido de los EAU, la presencia de bradicóricas es menor que en la vegetación mediterránea árida (por ejemplo, vegetación de matorrales semiáridos del SE de España), pero coincide con la presencia en otras regiones áridas, como el desierto central de Namibia. En los Emiratos Árabes Unidos, la lluvia es temporalmente impredecible y, por lo general, se restringe a un periodo corto del año. Alrededor del 46.0% de las especies bradicóricas dispersan sus semillas en la estación seca, lo que se explica a la luz de la menor actividad de los granívoros durante esa época del año. Además, la fluctuación diurna en la humedad y las temperaturas en las estaciones secas ayuda a romper la dormancia de la semilla. En los desiertos de los EAU, si las semillas se dispersaran y germinan en respuesta a una lluvia ineficaz, pueden morir antes de llegar a las próximas temporadas. Hay un 54.3% de especies bradicóricas en los hábitats de llanuras de arenas fijas, en las que el viento constituye un problema importante pues enterraría las semillas y las plántulas en el suelo. Por lo tanto, retrasar la dispersión de la semilla pospone la germinación de la semilla hasta el final de las estaciones ventosas. Curiosamente, muchas de las especies bradicóricas en las dunas de arena tienen un hábito erguido impidiendo este el ser enterrada en la arena en las dunas activas. Todas las especies bradicóricas identificadas en hábitats de salinas tienen una dispersión espacial restringida que refleja la adaptación espacial de las especies halófitas para sobrevivir solo en un tipo de hábitat muy específico. La presencia de diferentes grupos de especies bradicóricas representa diferentes tipos de adaptación a la supervivencia en los desiertos áridos de los EAU. El grupo de especies bradicóricas con frutos persistentes es predominantemente sinaptospérmico, lo que mejoraría el establecimiento de plántulas y reduciría las pérdidas de diásporas a través de la depredación por hormigas. El grupo de especies basicárpicas está sobre-extendido en todos los hábitats estudiados de los EAU. La basicárpica proporciona anclaje contra la escorrentía superficial y protege la diáspora de los depredadores. En nuestros resultados, el grupo de especies basicárpicas incluye especies anuales y postradas, que concuerdan con los resultados de otros estudios, como los desiertos del Negev y los desiertos de Mojave y Sonora en California.

Capítulo 4: Efecto del tiempo de maduración sobre la dormancia y la germinación de

las semillas de *Citrullus colocynthis* (Cucurbitaceae) en el desierto hiperárido de los Emiratos Árabes Unidos (EAU)

Las condiciones ambientales que prevalecen en el momento de la maduración de la semilla pueden afectar los requisitos de dormancia y germinación. Muchas plantas del desierto producen semillas con diferentes tipos y niveles de dormancia que solo se pueden romper una vez que están expuestas a las señales ambientales adecuadas. Es conocido el efecto inducido por el medio ambiente sobre la expresión fenotípica de los caracteres morfológicos y fisiológicos de las plantas. Por ejemplo, las semillas maduras en diferentes estaciones tienen diferentes requisitos de temperatura y luz durante la germinación. Varios estudios demuestran en el caso de Cucurbitáceas que las semillas maduras en otoño o invierno germinan significativamente más a altas temperaturas y en luz continua, en comparación con las semillas maduras en primavera o verano. La sincronización estacional de la maduración y dispersión de la semilla puede, a su vez, determinar la temporada de germinación de la semilla y la tasa de germinación y, en consecuencia, el ciclo de desarrollo o vida de la planta. El fotoperiodo y la calidad de la luz que prevalecen durante la maduración de la semilla pueden afectar la dormancia de la misma y la posterior germinación. En general, la germinación se promueve con regímenes de días cortos. La temperatura es otro factor muy importante durante la maduración de la semilla y que afecta su dormancia. En varias especies de Cucurbitáceas, las semillas producidas a temperaturas más altas tienen menor dormancia. La luz y las temperaturas afectan en gran medida la germinación de especies de Cucurbitáceas.

Citrullus colocynthis (L.) Schrad., (Cucurbitaceae) es un pequeño arbusto perenne postrado que crece durante todo el año en los desiertos árabes. Esta especie tiene muchos beneficios medicinales, incluyendo la diabetes tipo I. Además, *C. colocynthis* produce una gran cantidad de semillas oleaginosas que podrían convertirse en biodiesel de bajo costo. Estudios previos muestran que las semillas de *C. colocynthis* tienen una dormancia profunda. En nuestro estudio, analizamos si la dormancia de la semilla y los requisitos de germinación de *C. colocynthis* dependen del tiempo de recolección del fruto (un melón que contiene en su interior las semillas) y evaluamos los factores que podrían desencadenar la germinación, como la luz y la temperatura en los desiertos hiper-áridos de los Emiratos Árabes Unidos (EAU). Además, estudiamos el impacto de diferentes tratamientos, como el almacenamiento

en seco, el remojo en agua y la escarificación física en la rotura de la dormancia y los requisitos de germinación de las semillas.

Las semillas maduras se recolectaron en cinco momentos diferentes durante 2014-2015 (mediados de octubre y diciembre de 2014, principios de marzo y mediados de abril y junio de 2015) en una población natural de *C. colocynthis* que crece alrededor de la ciudad de Dubái, al norte de los Emiratos Árabes Unidos. Para cada recolección, se determinó el promedio de la masa de la semilla, el ancho y la altura, y el espesor del recubrimiento de la semilla. Las semillas de marzo y diciembre se almacenaron en bolsas de papel oscuro a temperatura ambiente durante un año (almacenamiento a temperatura ambiente). Las semillas almacenadas a temperatura ambiente y las frescas (puestas a germinar directamente tras su recolección) se pusieron a germinar bajo tres regímenes de temperatura (15/25 °C, 20/30 °C y 25/35 °C) en oscuridad continua y alternancia de 12h de luz / 12h de oscuridad. Se estudió específicamente el efecto del remojo en agua y la escarificación física en la germinación en las semillas recolectadas en marzo que presentaron una dormancia profunda. El análisis de varianza unidireccional (ANOVA) se utilizó para evaluar la importancia de los factores principales (por ejemplo, tiempo de recolección, temperatura y luz en incubación y condición de almacenamiento) sobre la germinación final y el índice de tasa de germinación (GRI). Se usó el coeficiente de correlación de Pearson (r) para evaluar el significado de la relación entre la germinación y las diferentes características de la semilla (por ejemplo, longitud de la semilla, masa y espesor de la cubierta de la semilla). Todos los métodos estadísticos se realizaron usando SYSTAT 13.

Las semillas recolectadas en marzo no germinaron ni a la luz ni en oscuridad bajo ninguno de los tres regímenes de temperaturas. La germinación total de la semilla de la recolección de diciembre (74.0%) fue mayor que las semillas recolectadas en abril, junio y octubre (52.0%, 27.8% y 36.7%, respectivamente). La germinación aumentó con el aumento de la temperatura de incubación (15/25 °C: 13.6%, 20/30 °C: 38.4% y 25/35 °C: 44.0%) y fue mayor en la oscuridad (38.0%) que en la luz (26.0%). A temperaturas más bajas (15/25 °C), las semillas de todas las colecciones no germinaron en la luz y las semillas de la recolección de abril no germinaron en la oscuridad, pero las de junio, octubre y diciembre germinaron en la oscuridad. Curiosamente, para la recolección de diciembre, la germinación alcanzó casi el 100.0% de las semillas totales a 25/35 °C en luz, pero alcanzó el mismo nivel a 15/25 °C en

la oscuridad. Estos resultados indican que la germinación a la luz requiere temperaturas más altas, pero la germinación en la oscuridad puede ser independiente del régimen de temperatura y depende más del momento de la recolección de la semilla. La germinación de todas las recolecciones de semillas fueron significativamente más rápidas a 25/35 °C que a 20/30 °C. Los resultados del estudio muestran correlaciones negativas entre la germinación final y la longitud de la semilla, el ancho, la masa y el grosor de la cubierta. Así, las semillas de marzo y junio son más grandes, pesadas y con una cubierta más gruesa y de germinación significativamente menor. La escarificación física, el remojo en agua y el almacenamiento de semillas no interrumpieron la dormancia para las semillas de la recolección de marzo. En general, el almacenamiento dio como resultado la reducción de la germinación (47.8% desde 73.8%). En la oscuridad, la germinación de las semillas almacenadas se redujo a 15/25 °C (39.0% desde 100.0%) y 25/35 °C (28.0% desde 82.0%), en comparación con las semillas frescas. Además, a la luz, la germinación fue significativamente mayor en las semillas frescas (70.0%), en comparación con las almacenadas (31.0%), a 20/30 °C.

La germinación de las semillas de *C. colocynthis* fue muy sensible a la luz, a la temperatura de incubación y a el tiempo de maduración de la semilla. Estos resultados son consistentes con los encontrados en muchas especies de la familia Cucurbitácea, en la cual las semillas germinaron solo a temperaturas cálidas. Además, muchas especies de Cucurbitáceas son negativamente fotoblásticas; es decir, su germinación se inhibe con la luz. La capacidad de las semillas de las diferentes colecciones, excepto marzo y abril, para germinar en la oscuridad indica que el requisito de temperatura tiene una base filogenética, así como el efecto inducido por la madre. Varios estudios muestran que una mayor duración del día durante el desarrollo de la semilla produce una estructura de la cubierta de la semilla más gruesa y más dura que reduce la germinación de la semilla en varias especies de Cucurbitáceas. En *C. colocynthis*, el espesor del recubrimiento de la semilla no pudo explicar la variación en la germinación; las semillas maduraron durante los días más cortos (diciembre, cubierta más delgada) así como los días más largos (abril, junio y octubre) alcanzaron una germinación más alta. Las semillas recolectadas en marzo no germinaron desarrollándose y madurando a temperaturas más frías. Esto indica que una temperatura más baja podría ser responsable de una mayor dormancia. El almacenamiento de las semillas de diciembre dio como resultado una reducción significativa en la germinación en oscuridad y a temperaturas bajas y altas, lo

que indica que el almacenamiento no afectó la viabilidad de la semilla, pero pudo haber cambiado la sensibilidad del fitocromo en la oscuridad. Algunos estudios atribuyen la dormancia total y la no germinación ante ningún tratamiento al hecho de la presencia de una membrana interna de semilla, pudiéndose ser el caso de nuestro estudio, ya que ni la escarificación física ni el remojo en agua ni su combinación estimularon la germinación de las semillas de la colección de marzo.