

(VERSIÓN EN ESPAÑOL ABAJO)

FIGHTING AN AGGRESSIVE WETLANDS INVADER: A CASE STUDY OF GIANT REED (*ARUNDO DONAX*) AND ITS THREAT TO CUATRO CIÉNEGAS, COAHUILA, MÉXICO

Luchando contra una especie ribereña, invasora y agresiva: un estudio de caso de Carrizo Grande (*Arundo donax*) y la amenaza que representa para Cuatro Ciénegas, Coahuila, México

SUZANNE MCGAUGH¹, DEAN HENDRICKSON², GARY BELL³, HERNANDO CABRAL⁴, KELLY LYONS⁵, LUCAS MCEACHRON⁶ AND OSCAR MUÑOZ J.⁷

¹*Department of Ecology Evolution and Organismal Biology, Iowa State University, 251 Bessey Hall, Ames, IA, USA 50011, U.S.A.; smcgaugh@iastate.edu*

²*Section of Integrative Biology, 1 University Station #C0930, The University of Texas at Austin, Austin, Texas 78712, U.S.A.; deanhend@mail.utexas.edu*

³*The Nature Conservancy, Conservation Science, 212 E. Marcy Street, Suite 200 Santa Fe, NM 87508, U.S.A.; gbell@tnc.org*

⁴*Northeast Mexico Program Manager. The Nature Conservancy. Corpus Cristi No. 2213-2 Col. Lomas de San Francisco, Monterrey, Nuevo León. México; hcabral@tnc.org*

⁵*Department of Biology, Trinity University, One Trinity Place, San Antonio, TX 78212, U.S.A.; Kelly.Lyons@Trinity.edu*

⁶*Department of Geography, Florida State University, Room 323 Bellamy Building, Tallahassee, FL 32306-2190, U.S.A.; lgm05d@fsu.edu*

⁷*Área Protegida de Flora y Fauna de Cuatro Ciénegas, Cuatro Ciénegas, Coahuila, México; omj@conanp.gob.mx*

ABSTRACT. Recently, a number of wetlands and rivers in Cuatro Ciénegas, Coahuila, México have become infested with an alien invasive weed, *Arundo donax* (L)(giant reed). *Arundo* threatens the viability of aquatic ecosystems in this unique federally designated Protected Area for Flora and Fauna by effectively draining the water to support its own rapid growth, altering hydrologic and nutrient cycling regimes, shading channels, and accelerating fire cycles that exchange floral diversity for a dense mono-specific stand of *Arundo*. The dynamics and structure of an ecosystem can be dramatically altered in a very short time. We reviewed information on *Arundo* infestations in California, where public and private agencies are fighting an expensive and laborious battle against the species. We then brought together individuals knowledgeable about California's invasive species management efforts, local resource managers, and binational researchers, as well as representatives of the local Cuatro Ciénegas community interested in management of the Área de Protección de Flora y Fauna de Cuatro Ciénegas (APFFCC) in a workshop to develop a plan for *Arundo* management. An *Arundo* Control Working Group was established to explore the potential impacts of the species on the APFFCC, the options for control and long-term management that have been explored elsewhere, and the appropriateness of their application in Cuatro Ciénegas. The Working Group also arranged for experiments to be done to examine toxicity of the preferred herbicide for control of *Arundo* to stromatolites, a particularly important life form in the APFFCC. We here review and summarize the Working Group's activities and deliberations to date, on the basis of which the Working Group will soon submit a proposal to the APFFCC to proceed with an *Arundo* control effort.

Key words: invasive species, *Arundo donax*, weed, aquatic ecosystem, glyphosate, stromatolites

Resumen. Recientemente una maleza invasora, *Arundo donax* (Carrizo Grande), invadió a varios pantanos y ríos en Cuatro Ciénegas, Coahuila, México. *Arundo* representa una amenaza a la viabilidad de los ecosistemas acuáticos de esta área única, designada por el gobierno federal como Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas (APFFCC), debido a su alto consumo de agua para desarrollar su rápido crecimiento, también altera los sistemas hídricos y los regímenes de los ciclos de los nutrientes, asimismo, azolva los cauces de agua y acelera los ciclos de los incendios que reemplazan la diversidad floral por bosques mono-específicos y muy densos de *Arundo*. Este carrizo capaz de cambiar la estructura y dinámica de un ecosistema en un plazo muy corto. Revisamos la información disponible sobre infestaciones de *Arundo* en California, donde organismos públicos y privados han implementado una batalla costosa y laboriosa contra la especie. Luego, realizamos un taller para desarrollar un plan para remediación del problema del *Arundo* y reunimos a las personas con experiencia sobre los esfuerzos de manejo en California; a los responsables para el manejo local de los recursos naturales e investigadores binacionales, así como a representantes de la comunidad local de Cuatro Ciénegas interesados en el manejo del APFFCC. Producto de este taller, se estableció un grupo de trabajo sobre *Arundo* con fines de explorar

los impactos potenciales de ésta especie sobre el APFFCC, así como las opciones para el control y manejo a largo plazo que se han explorado en otras áreas y la adecuación de su aplicación en Cuatro Ciénegas. El grupo de trabajo contrató a expertos para realizar experimentos sobre la toxicidad del herbicida seleccionado en estromatolitos, una forma de vida rara y particularmente importante en el APFFCC. Aquí revisamos y resumimos las actividades del grupo de trabajo y sus deliberaciones hasta la fecha, lo cual generó una propuesta que será entregada a el APFFCC para proceder con un esfuerzo de trabajo para el control del *Arundo*.

Palabras clave: especies invasoras; *Arundo donax*; malezas; ecosistemas acuáticos; glifosato; estromatolitos

INTRODUCTION

The highly invasive and aggressive giant reed, *Arundo donax* (L), has been well documented in many areas of North America to have severe impacts on natural aquatic ecosystems. It consumes vast amounts of water compared to most native North American riparian vegetation, and encroaches on stream channels, dramatically altering their morphology and velocity and limiting solar insolation. It is also highly flammable and regenerates quickly following fires, dramatically altering natural fire regimes. As such, its appearance in the middle of the Chihuahuan Desert in México, in an important natural protected area of springs and other aquatic systems that harbor a unique, diverse and highly endemic biota, prompted collaborations among researchers, managers and the local community. We report here on the process of analyzing the potential impacts of this new invasive species and discuss the various management alternatives considered.

STUDY SITE

The valley of Cuatro Ciénegas, in Coahuila, México, is ranked among the world's most unique ecosystems. Harboring over 70 endemic species, its endemism is higher than any other place in North America (Stein et al., 2000). Much of the valley's biotic diversity is associated with a diverse complex of hundreds of geothermal springs, lakes, and streams that exhibit extreme temperature and water chemistry variation, often over very small spatial scales. Much of the valley's biota is classified as endangered or threatened by the Mexican government and the Convention on International Trade of Endangered Species (CITES). Cuatro Ciénegas is also well known for its globally rare stromatolites; unusual calcium carbonate formations precipitated by cyanobacteria (Garcia-Pinzel, 2004, Souza et al. 2006). The fossil record tells us that stromatolites were among the planet's first life forms, and they live today in only a handful of places (Environmental Protection Authority of Western Australia, 2001, Souza et al. 2006). The high endemism and extreme fragility of the Cuatro Ciénegas ecosystem resulted in the

area being declared a National Protected Area (Secretaria de Desarrollo Social, 1994). Continued threats to biodiversity in the Área Protegida de Flora y Fauna de Cuatro Ciénegas (APFFCC) include water exploitation, exotic species invasions, industrial development, rapidly increasing tourism and population growth.

***Arundo* threatens freshwater ecosystems**

Arundo, an invasive bamboo-like, perennial grass, was intentionally introduced to North America from Europe for roofing material and erosion control, and later was used for musical instruments and horticultural purposes (Polunin and Huxley, 1987; Bell, 1997). In the United States it has invaded much of the south and the northeastern coast and has had particularly heavy impacts in California and Texas (Bell, 1997, Everitt et al. 2004), where it has greatly exacerbated flood damage, encroached on critical habitat for endangered species such as least Bell's vireo (*Vireo bellii pusillus*) and southwestern willow flycatcher (*Empidonax trailii extimus*), and has presented a major fire hazard to local communities (Bell, 1993a). The 1,000 acre stand of *Arundo* in California's Santa Margarita River valley is estimated to consume approximately 3,800 acre-feet of water per year, the equivalent of what 20,000 residents would use (Bell, 1993a), and far exceeding the water consumption of native riparian vegetation. In California *Arundo* is seen as a major pest and tens of millions of dollars have been allocated to extricate it (Dudley, 2000). In México, Programa de Especies Invasoras de México (organized by the Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]) now considers *Arundo* to be one of the top threats to the country's native riparian ecosystems (Ignacio March 2005, pers. comm.).

Numerous aspects of *Arundo*'s natural history and succession contribute to its invasiveness and persistence. It spreads clonally, through extensive rhizome masses and by generating roots from nodes of broken stems to establish on disturbed or bare areas (Boose and Holt, 1999; Khudamrongswat et al., 2004). It is among the fastest growing terrestrial plants in the world (nearly 10 cm/ day; Dudley, 2000) and out-competes native vegetation in most settings. Homogenization of habitats by the giant reed sets the stage for substantial modifications of the physical and chemical characteristics of an ecosystem, including accelerating fire cycles and exacerbating damage from flooding events (i.e. Bell, 1997; Dudley, 2000). *Arundo* recovers quickly after fire events and, in

effect, out-competes and out-shades regenerating native vegetation. Fire events thus push the system further toward mono-specific stands of *Arundo*. Monocultures like these are notorious for disease susceptibility, altering nutrient cycling dynamics, and contributing to the instability of an ecosystem (Tillman, 1996; Hooper and Vitousek, 1998; Mitchell et al., 2002).

Arundo was recently discovered in Cuatro Ciénegas and surrounding areas and efforts to fully map and document its invasion of the APFFCC began in 2004. By June 2006, *Arundo* had been documented to occur in a variety of mostly small to relatively large stands widely scattered throughout the APFFCC and surrounding area (Figure 1). Although it is not clear when *Arundo* arrived in the area, downstream of the APFFCC the largest stand in the region apparently replaced a similar native species, *Phragmites australis*, in less than 30 years (Hendrickson and McGaugh, 2005). In this area photo-documentation between 1961 and present clearly demonstrates intrusion of *Arundo* into the habitat of a native fish, the narrowly endemic Río Salado darter, *Etheostoma segrex*, which recent surveys indicate to be extremely rare, if not extinct, apparently as a result of habitat modifications caused, at least in large part, by *Arundo* (Hendrickson unpublished).

Arundo poses a threat to the stability of Cuatro Ciénegas ecosystems in several ways (Polunin and Huxley, 1987). It has an unpalatable silica and alkaloid content and so rarely fits into pre-existing food webs. It negatively alters habitats by changing nutrient and oxygen concentrations of the surrounding water, and increases shading of stream channels and constrains them laterally, leading to increased current velocities and depths (Bell, 1997). Aquatic organisms that prefer shallow, broad, sunny, clear-water streams with riffles, as do many in the Cuatro Ciénegas area, such as the Río Salado darter, and the globally rare and unique stromatolites that characterize Cuatro Ciénegas ecosystems, will quickly find their natural habitats inhospitable following *Arundo* invasion. Further, a giant reed stand often presents an impenetrable wall of plant material, preventing movement by many species of the terrestrial and amphibious biota. *Arundo* also impacts humans by monopolizing valuable water resources. Our preliminary calculations indicate it may use twenty times more water than does the native riparian vegetation typical of Cuatro Ciénegas (see Shafroth et al., 2005 for evapotranspiration estimates for floral communities similar to those of Cuatro Ciénegas, and more detailed description of

calculations in the Cuatro Ciénegas *Arundo* web page (Hendrickson and McGaugh, 2005).

***Arundo* Management in Cuatro Ciénegas**

In 2004 the relatively large community of all Cuatro Ciénegas researchers met and discussed immediate management concerns of the Cuatro Ciénegas valley, concluding that eradication of *Arundo* in the APFFCC was a high priority (Hendrickson, García de León and Souza 2005). These concerns led The Nature Conservancy and Pronatura Noreste to sponsor an *Arundo* Control Workshop in Cuatro Ciénegas during June 2005. At the forum, representatives from the community of Cuatro Ciénegas, four Mexican and U.S. agencies and non-governmental conservation organizations, and five Mexican and U.S. universities, addressed steps needed for eradication. Experts agreed that, at least at that point in time, the invasion was manageable. Due to the aggressive nature of the plant and the high conservation priority of the region, the consortium determined that immediate action is necessary to minimize the cost and ecosystem impact incurred by any delay in management of the giant reed, forming the *Arundo* Control Working Group to provide the studies and other information necessary to develop a management plan.

Considerations for local control and possible eradication of *Arundo* in the APFFCC initially included manual removal, prescribed fire, and herbicide application. Participants of the symposium were universally chemical-adverse, preferring removal of *Arundo* through non-chemical, mechanical methods; however, the ultimate consensus of discussions was that this would not be an effective approach for *Arundo* control.

Arundo management research and experience in California clearly indicate that manual and mechanical removal are ineffective and result in extensive collateral damage to ecosystems (Bell, 1993a; 1997). Due to the sensitive nature of the APFFCC we wish to avoid disturbance of the hardened calcareous soils, perturbation of which may result in substantial changes to the local hydrology and create more microhabitat for *Arundo* and other non-indigenous invasive species. Manual eradication is also expensive, with a price tag in California of about \$5000 USD per acre for above ground biomass cutting (not including removal from the site; Bell, 1993b). The remoteness of some stands in the APFFCC and the fragility of the area further complicate deployment of manual removal,

as does the fact that *Arundo* propagates readily from small fragments of rhizome and stem. Manual or mechanical removal inevitably produces many plant fragments and so often facilitates dispersal of *Arundo* propagules. Root and rhizome masses are easily left behind to drift or to be inadvertently moved to new locations. In the APFFCC, new populations have obviously established at sites where heavy machinery was used to dredge canals (unpublished data Lyons, Bell, Hendrickson, McEachron and McGaugh), likely arriving to the site as fragments lodged in equipment. Other stands are downstream of “palapas”, locally popular shade structures roofed with reeds, often *Arundo* brought from elsewhere, and we suspect those stands originated by rooting of stem fragments that drifted downstream from construction sites. Downstream dispersal of *Arundo* by this process is well documented elsewhere (e.g. Else, 1996). Therefore, containment of the species in this region will require community education so local residents are aware of how easily their activities might facilitate the plant’s spread.

Fire, though effectively removing all of *Arundo*’s highly flammable above-ground biomass, does not prevent re-growth. In fact *A. donax* regenerates more quickly after fires than do most native plants (Figure 2), rapidly outgrowing and shading them. Fire events, thus tend to push wetland communities to mono-specific stands of Giant Reed with little or no additional plant species diversity (Bell, 1993b).

Treatment of *A. donax* with a wetland-approved herbicide containing glyphosate has provided direct, effective control of the plant without high risk of re-infestation or dispersal of biomass (Bell, 1997). Glyphosate can be applied as a fine spray, or injected directly in the plant stem by herbicide gun, thus limiting exposure to desirable flora and fauna. In addition, glyphosate is appropriate for environmentally sensitive areas because its bioavailability is diminished quickly after application, and it has been formulated for use in aquatic environments. Glyphosate was declared by the United States Environmental Protection Agency (1993) to be “...no more than slightly toxic to birds and is practically nontoxic to fish, aquatic invertebrates and honeybees...” and to “...not pose unreasonable risks or adverse effects to humans or the environment.” A 1994 World Health Organization review produced similar conclusions (World Health Organization 1994). More recent studies continue to indicate that it poses little to no risk to wildlife and is not teratogenic or carcinogenic to humans (Williams et al., 2000; Monheit, 2002).

Although glyphosate application is putatively the most flexible and efficient way to control *Arundo* and it has been widely applied elsewhere without known significant adverse impacts when properly administered, application of any herbicide, especially in a protected area, must be approached with caution. Of particular concern to participants in the 2005 *Arundo* Control Workshop, was the absence of data on toxicity of glyphosates specifically to stromatolites, which are indisputably one of the most important life forms protected by the APFFCC. Cyanobacteria, such as those that form stromatolites, are the basic structure from which chloroplasts, the photosynthesis center of plant cells, are derived evolutionarily (Margulis, 1981). Since glyphosate fits into and disables the protein synthesis pathway, cyanobacteria and other photosynthetic organisms theoretically could be affected by glyphosate application. In other places where stromatolites still live, such as Shark Bay World Heritage Property in Western Australia, they are given the highest conservation priority (Environmental Protection Agency of Western Australia, 2001; Burns et al., 2004) and clearly they should get similar attention in Cuatro Ciénegas where they form the base of the food chain in many areas, thus supporting many of the area's endangered and endemic species. The Working Group thus decided it was necessary to investigate the impacts of glyphosate on stromatolites before proceeding with applications of this herbicide.

Field and laboratory studies of glyphosate toxicity to stromatolite-forming cyanobacteria are currently being conducted by researchers at the Instituto de Ecología of the Universidad Nacional Autónoma de México. Detailed results of those studies will be reported elsewhere, but preliminary results indicate that in vitro, AquaMaster™, a brand name under which glyphosate is marketed in México, kills both unicellular and filamentous cultivated cyanobacteria within a few weeks (Souza pers. comm. 1/30/2006; Falcón et al., 2006 unpublished) of exposure at even the lowest tested level (1.0E-06; Falcón et al., 2006). Final results of field trials will be important because the in vitro experiments did not use water from streams of the APFFCC and therefore did not account for natural glyphosate sequestering and breakdown by innate minerals and soil. Preliminary results from field trials, months after glyphosate applications to *Arundo*, indicated that general aspects of the stromatolites adjacent to the treatments were not visibly abnormal (Souza, pers comm. 4/19/2006; Hendrickson pers. obs. 5/27/2006).

Further analyses indicated that the *in vitro* experiment's doses and time spans were not reasonable reflections of field conditions, and so we independently estimated field concentrations of glyphosate that might result in Cuatro Ciénegas streams from applications to *Arundo* growing on their banks. Our calculations were based on following the label instructions for AquaMaster™ (supplied as an aqueous solution that is 0.538 glyphosate isopropylamine salt by weight), applying a 2% solution of AquaMaster™ at the rate of 40 gallons/acre (=61.3 liters/ha) to the largest known stand (0.11 ha) over a one hour period, which our field tests (below) clearly demonstrated was a reasonable application rate. Off-target spray (overspray) may be as high as 10% using the same backpack sprayers that we propose to use, however, this number varies and can be as low as 4% (Nowak and Ballard, 2005) with special application procedures, such as those we plan to use. Additionally, Mark Newhouser demonstrated that nearly all stands can be manipulated by applicators to assure in most cases that overspray falls on soil, where glyphosate is thoroughly demonstrated to quickly be degraded, instead of falling on water. Nonetheless, our calculations assumed that 10% of what is sprayed falls directly on water. Though discharge passing the many *Arundo* stands to be treated is mostly unmeasured, the entire Río Mesquites is diverted into the Saca Salada canal, and its discharge is known to be 121,659,189 liters/day (Brad Wolaver, University of Texas at Austin, pers. comm. 2005). Most stands of *Arundo* are on the Río Mesquites mainstem ranging from immediately above the Saca Salada canal diversion, or on major upstream tributaries of that system. We estimated that upstream stands to be treated grow on tributaries that may discharge as little as 10% of the total Saca Salada canal discharge, and so used 10% of the Saca Salada canal discharge in our calculations. Given the above assumptions for the worst case scenario, a maximum concentration of $1.61\text{E-}07$ AquaMaster™ might occur in streams alongside treated stands. Performing the same calculations for a 6% solution of Glifomar™, the highest concentration used in our field trials (below), produces field glyphosate concentration estimates that are about 3x those of the AquaMaster™ scenario described above. Thus all predictions for the worst case scenarios of field concentrations resulting from glyphosate applications in the APFFCC are nearly an order of magnitude less than the lowest concentration tested in the *in vitro* experiments. Actual concentrations will surely be 2-3 orders of magnitude less, given that

overspray can be controlled to less than 10%, and most all of it will fall on soil and not water. Also discharges along most stands will be greater than what we estimated in our calculation, and most stands are an order of magnitude smaller than the one used in the estimates.

Field tests of glyphosate for *Arundo* eradication in Cuatro Ciénegas

Under supervision of members of the *Arundo* Control Working Group, the APFFCC and local community, Mark Newhouser, an expert with many years of experience working on *Arundo* control projects in California, and Program Coordinator for Sonoma Ecology Center, administered field applications of glyphosate to *Arundo* in the Cuatro Ciénegas basin outside of the APFFCC in October 2005. Newhouser is a key individual in Team *Arundo* del Norte (<http://www.teamarundo.org>), a coalition of public agencies, non-profit organizations, academic institutions, and private property owners who share a commitment to eradicating *Arundo* from heavily infested areas of California. Following a tour of *Arundo* stands throughout the APFFCC, Newhouser offered further technical advice on removal of stands and agreed with the previous conclusion of the *Arundo* Control Working Group that manual removal was not an appropriate option. Under Newhouser's guidance, test applications of glyphosate (Glifomar™ [0.46 glyphosate by weight] + 0.5% Prospreader surfactant) in three treatment concentrations (1.5%, 3% and 6% Glifomar) all proved effective, but inspection of the stands in February and June of 2006 indicated the highest two concentrations had been slightly more effective than the lowest, with little apparent difference between 3% and 6%. Observation in June of limited re-growth from rhizomes around the periphery of the treated stands was not unexpected, and confirmed what was already known from California experiences, that two or more glyphosate applications will likely be necessary to achieve complete mortality of stands.

Required management actions: considerations, and recommendations

To protect the unique ecosystem in the APFFCC and surrounding areas, the authors of this paper and the majority of the participants of the 2005 Cuatro Ciénegas *Arundo* Control Workshop concur that *Arundo* must be controlled. The alternative, to allow it to persist in the area and invade beyond control, is clearly inadvisable given the species invasion history throughout North America. In addition, as in many areas of the

world invaded by *Arundo*, there is a threshold beyond which no amount of resources or human hours will bring the species under control. We are in an unusual and ideal position in Cuatro Ciénegas to control a non-indigenous, invasive species at the initial stages of invasion. It seems most likely that control will require careful and educated application of a glyphosate-based wetland approved herbicide within the APFFCC, probably late in the flowering season (October) (Bell, 1997; Monsanto, 2002), and that this herbicide be applied to minimize if not eliminate adverse impacts on the Cuatro Ciénegas ecosystem. Regardless of methods used to control *Arundo*, we suggest land managers focus first on removing *Arundo* to restore natural water channels in the core areas of the APFFCC to a pre-invasion state and then, to help prevent re-invasion, proceed to extermination of *Arundo* in agricultural, residential, and recreational areas peripheral to the core and surrounding the APFFCC.

In order to achieve a robust *Arundo*-free ecosystem several recommendations have been made by experts in *Arundo* eradication who have visited the Cuatro Ciénegas invasion. These include: (1) herbicide applicators should be trained by experienced personnel; (2) treat the invasion from the top of the watershed and work downstream; (3) monitor all treated stands monthly for 24 months; (4) treat any re-growth; (5) monitor annually after 24 months and more frequently during and following any disturbance events (i.e. construction, floods or fire). During these monitoring sessions, it is expected that studies of riparian re-establishment dynamics will take place in treated areas, and these studies will help determine if active re-vegetation is necessary. In addition, working down from the top of the watershed may include areas not directly in the APFFCC such as El Cañon, which flows into the town of Cuatro Ciénegas from the north.

The cost of a transient, minimal negative impact of herbicide or, alternatively, the impact of manual removal, must be considered in light of the eventual long-term effects of *Arundo* on this ecosystem, as must the relative ease of implementing control efforts at this early stage of the invasion versus later when stands are likely to be much more expansive and widely scattered. The extreme water depletion compared to native riparian vegetation of the APFFCC, shading, inevitable nutrient flow changes, and fire hazards associated with the inevitable wider establishment of this plant will undoubtedly be unfavorable to the Cuatro Ciénegas ecosystem. Due to its aggressive invasion of other

aquatic habitats in many other places, including an approximately 250 acre mono-specific stand now established a short distance below the Cuatro Ciénegas valley in the Río Salado de los Nadadores, we fully anticipate that without efforts to control it, *Arundo* will eventually spread over a much larger area within the APFFCC.

Though not considered in the present eradication project focused on the APFFCC, eradication of *Arundo* from the Río Salado de los Nadadores downstream of the Cuatro Ciénegas valley could potentially save many acre feet of water per year for downstream agriculture, and if the Río Salado darter still exists in the area, its preferred riffle habitat could conceivably be restored following *Arundo* control. We encourage a cost-benefit analysis for an eradication project in this area. Lastly, while control efforts in the APFFCC should focus primarily on *Arundo*, simultaneous eradication of *Tamarisk ramosissima*, or saltcedar, in the APFFCC is planned as well. *Tamarisk* is also known to be established at widely scattered locations in the APFFCC, is a well know invasive pest in many other desert areas of North America, and evapotranspires at approximately twice the rate of native vegetation (Shafroth et al., 2005). Although it presently appears to us to represent less of a threat to ecosystem integrity in the APFFCC than does *Arundo*, it may represent an equal or greater future threat and it is recommended that control efforts for it be conducted simultaneous with the *Arundo* control effort.

Additional information about *Arundo* and its management in Cuatro Ciénegas, and future updates on status of the control project, will be available online (Hendrickson and McGaugh 2005).

ACKNOWLEDGEMENTS

Authors following the first two are listed alphabetically. All authors are members of the Cuatro Ciénegas *Arundo* Control Working Group and this contribution is derived from the September 01, 2005 draft of the Cuatro Ciénegas *Arundo* Eradication Plan (McGaugh et al. 2005) authored by some of the authors of this contribution working as a subcommittee of that group. Other members of the Working Group joined with the subcommittee in the production of the second draft of the *Arundo* Eradication Plan (unpublished) and to author this manuscript. The June 2005 *Arundo* Control Workshop that initiated work on the Eradication Plan and brought the authors and others together

would not have been possible without a grant from PRONATURA-Noreste and The Nature Conservancy, who also supported studies of herbicide impact studies in the lab of Dr. Valeria Souza (Falcón et al. 2006) on stromatolites and field herbicide trials, as well as related community outreach and herbicide training and other consultations with Mark Newhouser. Input from others who participated in our June 2005 *Arundo* Control Workshop (representing Desuvalle, A.C., Universidad Iberoamericana, Instituto de Ecología de la UNAM (IE/UNAM), CONANP, and the community of Cuatro Ciénegas) was also essential to production of the first draft of the *Arundo* Eradication Plan, and thus this contribution. Juan Carlos Ibarra, sub-directors of the APFFCC has been very helpful, participating in meetings about *Arundo* in Cuatro Ciénegas and related field work, as has Benigno Vásquez. Comments of Adam E. Cohen and anonymous reviewers on a draft of this manuscript helped improve it.

LITERATURE CITED

- BELL, G.P. 1993a. Santa Margarita management plan for the control of Giant Reed (*A. donax*). The Nature Conservancy.
- BELL, G.P. 1993b. Prado Basin resource management plan for the control of Giant Reed (*A. donax*). The Nature Conservancy.
- BELL, G.P. 1997. Ecology and management of *A. donax* and approaches to riparian habitat restoration in southern California. Pg. 103-113 in J.H. Brock, M. Wade P. Pysek, and D. Green, eds. *Plant Invasion: Studies from North America and Europe*. Leiden, The Netherlands: Backhuys.
- BOOSE, A. B., AND J. S. HOLT. 1999. Environmental effects on asexual reproduction in *Arundo donax*. *Weeds Research* 39:117-127.
- BURNS, B.P., F. GOH, M. ALLEN AND B.A. NEILAN. 2004. Microbial diversity of extant stromatolites in the hypersaline marine environment of Shark Bay, Australia. *Environmental Microbiology* 6: 1096–1101.
- DUDLEY, T. L. 2000. *A. donax donax* L. Pg 53-58 in C.C. Bossard, J. M. Randall, and M.C. Hoshovsky, eds. *Invasive Plants of California's Wildlands*. Berkeley, CA: University of California Press.
- ELSE, J.A. 1996. Post-flood establishment of native woody species and an exotic, *Arundo donax*, in a southern California riparian system. M.S. Thesis, San Diego State University.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AUTHORITY OF WESTERN AUSTRALIA. 2001. Shark Bay World Heritage Property: Environmental values cultural uses and potential petroleum industry impacts. http://www.epa.wa.gov.au/docs/1642_SBWHP_Report01.pdf
- EVERITT, J. H., C. YANG, M. A. ALANIZ, M. R. DAVIS, F. L. Nibling, and C. J. Deloach. 2004. Canopy spectra of giant reed and associated vegetation. *Journal of Range Management* 57:561-569.
- FALCÓN, LUISA I, LUIS E EGUIARTE AND VALERIA SOUZA. 2006. Report on the Proposed Use of Aquamaster In Cuatro Ciénegas, Coahuila, México as a Mechanism to Control *Arundo donax*. Unpublished report, Laboratorio de Evolución Molecular y Experimental, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. Received 3 July 2006. (available via <http://desertfishes.org/cuatroc/organisms/non-native/arundo/Arundo.html>).

- GARCIA-PICHEL, F., F.A. AL-HORANI, J.D. FARMER, R. LUDWIG, B.D. WADE. 2004. Balance between microbial calcification and metazoan bioerosion in modern stromatolitic oncolites. *Geobiology* 2:1-49.
- HENDRICKSON, D.A. AND S. MCGAUGH. 2005. *Arundo donax* (Carrizo Grande / Giant Cane) in Cuatro Ciénegas (<http://desertfishes.org/cuatroc/organisms/non-native/arundo/Arundo.html>).
- HENDRICKSON, D.A., F. GARCÍA DE LEÓN AND V. SOUZA. 2005. Proceedings of the First meeting of Cuatrociénegas researchers. (<http://desertfishes.org/cuatroc/meeting/junta/2004/index.html>).
- HOOPEER, D.U. AND P.M. VITOUSEK. 1998. Effects of plant composition and diversity on nutrient cycling. *Ecological Monographs* 68: 121-149.
- KHUDAMRONGSAWAT, J., R. TAYYAR, AND J. S. HOLT. 2004. Genetic diversity of Giant Reed (*A. donax donax*) in the Santa Ana River, California. *Weed Science*. 52: 395-405.
- MARGULIS, L. (1981) *Symbiosis in Cell Evolution: Life and Its Environment on the Early Earth* (Freeman, San Francisco).
- MCGAUGH, S., D. A. HENDRICKSON, G. BELL, T. DUDLEY, K. LYONS, V. SOUZA AND L. MCEACHRON. 2006. Draft *Arundo* Eradication Plan: Cuatro Ciénegas, Coahuila, México. (September 01, 2005 Version, http://desertfishes.org/cuatroc/organisms/non-native/arundo/Arundo_Eradication_Plan_version2005_09_01.pdf)
- MITCHELL, C.E., D. TILMAN, AND J.V. GROTH. 2002. Effects of grassland plant species diversity, abundance, and composition of foliar fungal disease. *Ecology* 83: 1713–1726.
- MONHEIT, S. 2002. Glyphosphate-based aquatic herbicides: An overview of risk. *Noxious Times* 6(2):1-10.
- MONSANTO. 2002. AquaMaster™: Herbicide by Monsanto, Specimen Label. <http://www.cdms.net/ldat/ld4BL000.pdf>
- NOWAK, C.A. AND BALLARD, B.D. 2005. Off target herbicide deposition associated with treating individual trees. *Environmental Management* 36: 237-247.
- POLUNIN, O. AND A. HUXLEY. 1987. *Flowers of the Mediterranean*. Hogarth Press, London.
- SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL. 1994. Decreto por el que se declara como área protegida, con el carácter de protección de flora y fauna, la región conocida como Cuatro Ciénegas, municipio de Cuatro Ciénegas, Coahuila. *Diario Oficial De La Federación, México CDXCIV*(5):5-11.
- SHAFROTH, P.B., J.R. CLEVERLY, T.L. DUDLEY, J.P. TAYLOR, C. VAN RIPER III, E.P. WEEKS. AND J.N. STUART. 2005. Control of Tamarix in the Western United States: Implications for Water Salvage, Wildlife Use, and Riparian Restoration. *Environmental Management* 35:231-246.
- SOUZA, V., L. ESPINOSA-ASUAR, A.E. ESCALANTE, L.E. EGUIARTE, J. FARMER, L. FORNEY, L. LLORET, J.M. RODRIGUEZ-MARTINEZ, X. SOBERON, R. DIRZO, AND J.J. ELSER. 2006. An endangered oasis of aquatic microbial biodiversity in the Chihuahuan desert. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103 (17):6565-6570.
- STEIN, B.A., L.S. KUTNER, AND J.S. ADAMS, editors. 2000. *Precious Heritage: The Status of Biodiversity in the United States*. Oxford University Press, Oxford.
- TILLMAN, D. 1996. Biodiversity: Population versus ecosystem stability. *Ecology* 77: 350-363.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1993. Reregistration Eligibility Decision Facts: Glyphosate. (available at <http://www.epa.gov/oppsrd1/REDs/factsheets/0178fact.pdf>)
- WILLIAMS, G.M., KROES, R., AND MUNRO, I.C. 2000. Safety evaluation and risk assessment of the herbicide Roundup and its active ingredient, glyphosate, for humans. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 31:117–165.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. 1994. International programme on chemical safety: Environmental health criteria 159: Glyphosate. Published under the joint sponsorship of the United Nations Environment Programme, the International Labour Organisation, and the World Health Organization. Available at <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc159.htm>.



Figure 1. Satellite view (adapted from Hendrickson and McGaugh 2005) of the Cuatro Ciénegas valley from Google Earth illustrating locations of all known *Arundo* stands as of June 2006 (red circles with yellow exclamation points). View is from north of the town of Cuatro Ciénegas (visible in lower center) looking southeast. The tip of Sierra San Marcos y Pinos is at center right edge of the figure. In lower right foreground are groundwater-irrigated alfalfa fields of the Calaveras Valley. The Google Earth file that produced the figure may be downloaded for closer inspection and coordinates of each stand at http://desertfishes.org/cuatroc/organisms/non-native/arundo/Arundo.html#where_CC.



Figure 2. Benigno Vásquez of Cuatro Ciénegas displays *Arundo donax* plants approximately two weeks post burn along the highway to Ocampo, Cuatro Ciénegas, Coahuila, México (photo by Suzanne McGaugh).

LUCHANDO CONTRA UNA ESPECIE RIBEREÑA, INVASORA Y AGRESIVA: UN ESTUDIO DE CASO DEL CARRIZO GRANDE (*ARUNDO DONAX*) Y LA AMENAZA QUE REPRESENTA PARA CUATRO CIÉNEGAS, COAHUILA, MÉXICO

SUZANNE MCGAUGH¹, DEAN HENDRICKSON², GARY BELL³, HERNANDO CABRAL⁴, KELLY LYONS⁵, LUCAS MCEACHRON⁶ Y OSCAR MUÑOZ J.⁷

¹*Departamento de Evolución Ecológica y Biología de Organismos, Universidad Estatal de Iowa, 251 Bessey Hall, Ames, IA, USA 50011, E.U.A.; smcgaugh@iastate.edu*

²*Sección de Biología Integracional, 1 University Station #C0930, Universidad de Texas en Austin, Austin, Texas 78712, E.U.A.; deanhend@mail.utexas.edu*

³*The Nature Conservancy, Ciencia para la Conservación, 212 E. Marcy Street, Suite 200 Santa Fe, NM 87508, E.U.A.; gbell@tnc.org*

⁴*Gerente de Programa del Noreste de México, The Nature Conservancy. Corpus Cristi No. 2213-2 Col. Lomas de San Francisco, Monterrey, Nuevo León. México; hcabral@tnc.org*

⁵*Departamento de Biología, Universidad Trinity, One Trinity Place, San Antonio, TX 78212, E.U.A.; Kelly.Lyons@Trinity.edu*

⁶*Departamento de Geografía, Universidad Estatal de Florida, Room 323 Bellamy Building, Tallahassee, FL 32306-2190, E.U.A.; lgm05d@fsu.edu*

⁷*Área Protegida de Flora y Fauna de Cuatro Ciénegas, Cuatro Ciénegas, Coahuila, México; omj@conanp.gob.mx*

RESUMEN. Recientemente una maleza invasora, *Arundo donax* (Carrizo Grande), invadió varios pantanos y ríos en Cuatro Ciénegas, Coahuila, México, una singular área designada por el gobierno federal como Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas (APFFCC). *Arundo* representa una amenaza para la viabilidad de los ecosistemas acuáticos de esta área ya que requiere de un alto consumo de agua para su rápido crecimiento y altera, a la vez, los sistemas hidrológicos y los ciclos de nutrientes; asimismo, azolva los cauces de agua y acelera el ciclo de incendios reemplazando la flora diversa con bosques mono-específicos y muy densos de *Arundo*. La estructura y dinámica de un ecosistema puede ser alterado sustancialmente en un plazo muy corto. Revisamos la información disponible sobre infestaciones de *Arundo* en California, donde organismos públicos y privados han implementado una batalla costosa y laboriosa contra la especie. En seguida, organizamos un taller con el propósito de desarrollar un plan para solucionar el problema del *Arundo* que contó con la participación de personas con experiencia en el manejo de especies invasoras en California, a los responsables del manejo de los recursos naturales a nivel local e investigadores binacionales, así como a representantes de la comunidad de Cuatro Ciénegas interesados en el manejo del APFFCC. Producto de este taller se estableció un grupo de trabajo para el *Arundo* con el fin de explorar los impactos potenciales de esta especie sobre el APFFCC, así como las opciones para su control y manejo a largo plazo implementadas en otras zonas y la factibilidad de su aplicación en Cuatro Ciénegas. El grupo de trabajo contrató a expertos para realizar experimentos sobre la toxicidad del herbicida preferido para *Arundo* sobre los estromatolitos, una forma de vida rara y particularmente importante en el APFFCC. En el presente trabajo revisamos y resumimos las actividades del grupo de trabajo y sus conclusiones hasta la fecha, las que han generado una propuesta que será entregada al APFFCC para proceder con el control del *Arundo*.

Palabras clave: especies invasoras; *Arundo donax*; maleza; ecosistemas acuáticos; glifosato; estromatolitos.

INTRODUCCIÓN

En muchas áreas de Norteamérica se ha documentado cómo el altamente invasor y agresivo carrizo grande, *Arundo donax* (L), tiene un severo impacto sobre los ecosistemas acuáticos. Consume grandes cantidades de agua, en comparación con la mayoría de la vegetación ribereña nativa de Norteamérica, y reduce los cauces de agua,

alterando de manera dramática su morfología y velocidad, y limita la insolación. También es altamente combustible y se regenera con rapidez después de un incendio, lo que altera en forma dramática el ciclo natural de incendios. Es así como su surgimiento en el Desierto de Chihuahua en México, en una importante área protegida de manantiales y otros sistemas acuáticos que albergan una biota única, diversa y altamente endémica, dio pie a la colaboración entre investigadores, administradores y la comunidad local. En el presente trabajo registramos el proceso de análisis de los impactos potenciales de esta nueva especie invasora y presentamos un panorama de las diversas opciones consideradas para su manejo.

SITIO DEL ESTUDIO

El valle de Cuatro Ciénegas, en Coahuila, México, se encuentra clasificado entre los ecosistemas más singulares del mundo. Alberga más de 70 especies endémicas, lo que significa que su endemismo es mayor que en cualquier otro lugar de Norteamérica (Stein et al., 2000). Gran parte de la diversidad en la biota del valle se asocia con un complejo de cientos de manantiales geotérmicos, pozas y canales diversos que presentan grandes variaciones de temperatura y química del agua, con frecuencia dentro de reducidos espacios. Gran parte de la biota del valle se encuentra clasificada por el gobierno de México y por la Convención sobre Comercio Internacional de Especies en Peligro (CITES) como en peligro o amenazada. Cuatro Ciénegas también es conocido por sus estromatolitos, de relevancia a nivel mundial; éstas son formaciones inusuales de carbonato de calcio precipitado por cianobacteria (García-Píncel, 2004, Souza et al. 2006). El registro de fósiles nos indica que los estromatolitos se encuentran entre las primeras formas de vida del planeta y hoy subsisten sólo en muy pocos lugares (Environmental Protection Authority of Western Australia, 2001, Souza et al. 2006). El alto endemismo y extrema fragilidad del ecosistema de Cuatro Ciénegas dio como resultado que fuera declarada un Área Nacional Protegida (Secretaría de Desarrollo Social, 1994). Las amenazas actuales a la biodiversidad del Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas (APFFCC) incluyen la explotación del agua, la invasión de especies exóticas, el desarrollo industrial, el rápido crecimiento de la actividad turística y el crecimiento demográfico.

***Arundo* amenaza a los ecosistemas de agua dulce**

Arundo, un pasto perenne invasor semejante al bambú, se introdujo de manera intencional en Norteamérica desde Europa con el fin de utilizarse para la construcción de techos y para el control de la erosión; más tarde se utilizó como instrumento musical y con fines de horticultura (Polunin and Huxley, 1987; Bell, 1997). En los Estados Unidos ha invadido gran parte del sur así como de la costa noreste y en especial ha tenido un fuerte impacto en California y Texas (Bell, 1997, Everitt et al. 2004) donde ha exacerbado el daño por inundaciones, ha disminuido hábitat crítico para especies en peligro tales como el Vireo de Bell (*Vireo bellii pusillus*) y el Mosquero de Trail (*Empidonax trailii extimus*) y representa un peligro de incendio importante para las comunidades (Bell, 1993a). Se estima que la extensión de 404.7 hectáreas (1,000 acres) de *Arundo* en el valle del Río de Santa Margarita en California consume aproximadamente 3,800 acres-pies de agua al año, lo que equivale al consumo de 20 mil personas (Bell, 1993a) y sobrepasa por mucho el consumo de agua de la vegetación ribereña nativa. En California el *Arundo* es visto como una plaga importante y se han destinado millones de dólares para su erradicación (Dudley, 2000). En México, el Programa de Especies Invasoras de México (organizado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]) actualmente considera al *Arundo* como una de las principales amenazas para los ecosistemas ribereños nativos (Ignacio March 2005, pers. comm.).

Numerosos aspectos de la historia natural y sucesión del *Arundo* contribuyen a su nivel de invasión y persistencia. Se extiende de manera clonal a través de extensas masas de rizomas y generando raíces a partir de nodos en tallos rotos lo que le permite establecerse en áreas con perturbaciones y desmonte (Boose and Holt, 1999; Khudamrongswat et al., 2004). Se encuentra entre las plantas terrestres con el crecimiento más rápido en el mundo (aproximadamente 10 cm/día; Dudley, 2000) y en la mayoría de los escenarios compite favorablemente contra la vegetación nativa. La homogeneización de los hábitat a partir de la presencia del carrizo grande permite modificaciones sustanciales en las características físicas y químicas de un ecosistema, incluyendo el aceleramiento en el ciclo de incendios y mayor daño por las inundaciones

(por ejemplo, Bell, 1997; Dudley, 2000). *Arundo* se recupera con rapidez después de un incendio y de hecho, gana la competencia y crea sombra sobre la vegetación nativa en regeneración. Los incendios, por lo tanto, ejercen aún más presión sobre el sistema hacia la conformación de comunidades mono-específicas de *Arundo*. Los monocultivos, tal como éste, son altamente susceptibles a las enfermedades, alterando la dinámica en el ciclo de nutrientes y contribuyendo a la inestabilidad de un ecosistema (Tillman, 1996; Hooper y Vitousek, 1998; Mitchell et al., 2002).

Arundo fue descubierto de manera reciente en Cuatro Ciénegas y áreas circundantes; los esfuerzos para registrarlo en mapas y documentar la invasión del APFFCC iniciaron en el 2004. Para junio de 2006 se había encontrado que *Arundo* ocurre en una variedad de comunidades desde pequeñas a relativamente grandes a través del APFFCC y área circundante (Figura 1). Aun cuando no es claro cuándo *Arundo* llegó al área, aparentemente cauce abajo del APFFCC las comunidades más grandes de la región reemplazaron a las especies nativas similares, *Phragmites australis*, en menos de 30 años (Hendrickson y McGaugh, 2005). En esta documentación fotográfica aérea realizada de 1961 a la fecha se muestra con claridad la intromisión de *Arundo* en el hábitat de un pez nativo, el endémico Río Salado darter, *Etheostoma segrex*; los inventarios más recientes indican que este pez es extremadamente raro, o se encuentra extinto, posiblemente como resultado de las modificaciones de hábitat causadas, por lo menos en gran parte, por *Arundo* (Hendrickson inédito).

Arundo presenta una amenaza a la estabilidad de los ecosistemas de Cuatro Ciénegas de varias maneras (Polunin y Huxley, 1987). Tiene un contenido incomedible de sílice y alcaloides, por lo tanto es común que no se adapte a las cadenas alimenticias preexistentes. Altera los hábitat de forma negativa al cambiar las concentraciones de nutrientes y oxígeno en el agua circundante; incrementa la sombra sobre los cauces de agua y los constriñe lateralmente, lo que repercute en una mayor velocidad y profundidad de las corrientes (Bell, 1997). Los organismos acuáticos que prefieren las corrientes de agua de poca profundidad, amplias, asoleadas, claras y con poco oleaje, y que son las más frecuentes en el área de Cuatro Ciénegas, tales como el Río Salado darter y los singulares estromatolitos, raros a nivel global y que caracterizan a los ecosistemas de Cuatro Ciénegas, encontrarán con rapidez que sus hábitat naturales serán inhospitables después

de la invasión de *Arundo*. Aún más, una comunidad de carrizo grande forma a menudo una pared impenetrable de material vegetal que evita el movimiento a muchas especies de biota terrestre y anfibia. *Arundo* también tiene un impacto sobre los humanos al monopolizar el agua, un recurso muy valioso. Nuestros cálculos preliminares indican que puede utilizar veinte veces más agua que la vegetación ribereña nativa típica de Cuatro Ciénegas (ver en Shafroth et al., 2005, los estimados de evapora-transpiración para las comunidades de flora similares a aquéllas encontradas en Cuatro Ciénegas y una descripción más detallada de los cálculos pueden encontrarse en la página de Internet de *Arundo* de Cuatro Ciénegas (Hendrickson and McGaugh, 2005)).

Manejo del *Arundo* en Cuatro Ciénegas

En el 2004 se reunió la relativamente amplia comunidad de investigadores de Cuatro Ciénegas con el fin de discutir las preocupaciones inmediatas para el manejo del valle de Cuatro Ciénegas, llegando a la conclusión que la erradicación de *Arundo* en el APFFCC era una alta prioridad (Hendrickson, García de León y Souza 2005). Estas preocupaciones llevaron a The Nature Conservancy y a Pronatura Noreste a patrocinar un Taller para el Control del *Arundo* en Cuatro Ciénegas durante junio de 2005. Durante el forum, representantes de la comunidad de Cuatro Ciénegas, cuatro dependencias gubernamentales y organizaciones conservacionistas no gubernamentales de México y Estados Unidos, así como cinco universidades mexicanas y norteamericanas, dirigieron sus esfuerzos hacia los pasos necesarios para su erradicación. Los expertos estuvieron de acuerdo de que, por lo menos en ese momento, la invasión era manejable. Debido a la naturaleza agresiva de la planta y la alta prioridad para la conservación de la región, el grupo determinó que era necesario tomar acción de inmediato para minimizar el costo e impacto en el ecosistema que podría resultar si se posponía el manejo del carrizo grande, y se formó el Grupo de Trabajo para el Control del *Arundo* con el fin de proporcionar los estudios y otra información necesaria para desarrollar un plan de manejo.

Las consideraciones para el control local y la posible erradicación del *Arundo* en el APFFCC incluyó inicialmente un manual para su retiro, prescripción de incendios y aplicación de herbicidas. Los participantes en el simposio se manifestaron en su totalidad en contra del uso de químicos, prefiriendo el retiro del *Arundo* a través de métodos

mecánicos no-químicos; sin embargo, el consenso final de la discusión fue que éste no sería un enfoque efectivo para el control de *Arundo*.

La investigación sobre el manejo y experiencia con el *Arundo* en California indica con claridad que el retiro manual y mecánico es inefectivo y resulta en un daño colateral extenso a los ecosistemas (Bell, 1993a; 1997). Debido a la naturaleza tan sensible del APFFCC deseamos evitar cualquier disturbio sobre los endurecidos suelos calcáreos, una perturbación que podría resultar en cambios sustanciales en la hidrología local y crear más micro hábitat para el *Arundo* y otras especies invasoras no nativas. La erradicación manual también es costosa, con un precio en California de aproximadamente \$5,000 dólares por acre por el corte de la biomasa sobre el suelo (sin incluir su retiro del sitio; Bell, 1993b). La localización remota de algunas comunidades en el APFFCC y la fragilidad del área complican aún más la elección de un retiro manual, así como el hecho de que *Arundo* se propaga con facilidad a partir de pequeños fragmentos de rizoma y tallo. El retiro manual o mecánico inevitablemente produce muchos fragmentos de planta y con frecuencia facilita la dispersión de propágulos de *Arundo*. Las masas de tallos y rizomas pueden dejarse atrás y flotar, o pueden trasladarse con facilidad a otros lugares. En el APFFCC obviamente se han establecido nuevas poblaciones en lugares donde se utilizó maquinaria pesada para dragar los canales (datos inéditos de Lyons, Bell, Hendrickson, McEachron y McGaugh), posiblemente llegando al sitio como fragmentos adheridos a la maquinaria. Otras comunidades se encuentran corriente abajo de las “palapas”, frecuentes estructuras locales levantadas para dar sombra y fabricadas con techos de carrizo, usualmente *Arundo* traído de otras partes; sospechamos que estas comunidades se originaron a partir de las raíces que brotaron de fragmentos de tallo y que flotaron corriente abajo desde los sitios de construcción. La dispersión corriente abajo de *Arundo* debido a este proceso está bien documentada en otras partes (por ejemplo, Else, 1996). Por lo tanto, la contención de la especie en la región requerirá la educación de la comunidad para que los residentes estén concientes de cómo sus actividades pueden facilitar la dispersión de la planta.

Los incendios, aun cuando retiran con efectividad toda la biomasa altamente combustible del *Arundo* sobre la superficie, no evitan que crezca nuevamente. De hecho, *A. donax* se regenera con mayor rapidez después de un incendio que la mayoría de las

plantas nativas (Figura 2), creciendo con mucha mayor rapidez y provocando sombra sobre las otras plantas. Los incendios, en consecuencia, tienden a presionar las comunidades ribereñas hacia comunidades mono-específicas de Carrizo Grande con poca o ninguna diversidad de plantas adicionales (Bell, 1993b).

El manejo de *A. donax* con un herbicida aprobado para su uso en humedales y que contiene glifosato ha proporcionado un control directo y efectivo de la planta sin un alto riesgo de re-infestación o dispersión de la biomasa (Bell, 1997). El glifosato puede aplicarse como un rocío fino o inyectarse directamente al tallo de la planta con una pistola herbicida, por lo tanto limita la exposición a la flora y fauna deseables. Además, el glifosato es apropiado para áreas medioambientalmente sensibles porque su bio-disponibilidad se reduce con rapidez después de su aplicación y ha sido formulado para su uso en medios ambientes acuáticos. El glifosato fue declarado por la Agencia de Protección al Medio Ambiente de los Estados Unidos (1993) como "... sólo ligeramente tóxico para las aves y prácticamente no tóxico para los peces, invertebrados acuáticos y abeja..." y "...no presenta riesgos no razonables o efectos adversos para los humanos o el medio ambiente". Una revisión de la Organización Mundial de la Salud en 1994 produjo conclusiones similares (World Health Organization 1994). Estudios más recientes continúan indicando que representa poco o ningún riesgo para la vida silvestre y no es teratogénico o cancerígeno para los seres humanos (Williams et al., 2000; Monheit, 2002).

Aun cuando la aplicación de glifosato es supuestamente la manera más flexible y eficiente de control para el *Arundo* y se ha aplicado con amplitud en otros lugares sin presentar impactos adversos significativos conocidos si se administra correctamente, el uso de cualquier herbicida, especialmente en un área protegida, debe ser visto con cautela. De especial preocupación para los participantes del Taller para el Control del *Arundo* de 2005 fue la ausencia de datos sobre la toxicidad del glifosato sobre los estromatolitos en específico, que son innegablemente una de las formas de vida más importantes protegidas por el APFFCC. Cianobacteria, tal como la que forma los estromatolitos, son la estructura básica a partir de la cual los cloroplastos, el centro de fotosíntesis de las células vegetales, han evolucionado (Margulis, 1981). Ya que el glifosato penetra e inutiliza la vía de síntesis de proteína, en teoría la cianobacteria y otros

organismos de la fotosíntesis se verían afectados por la aplicación de glifosato. En otros lugares donde aún viven estromatolitos, tal como Shark Bay World Heritage Property en el oeste de Australia, se les otorga la más alta prioridad para su conservación (Environmental Protection Agency of Western Australia, 2001; Burns et al., 2004) y por supuesto deben recibir una atención similar en Cuatro Ciénegas donde forman la base de la cadena alimenticia en muchas áreas y por lo tanto sostienen muchas de las especies en peligro y endémicas del área. En consecuencia, el Grupo de Trabajo decidió necesario investigar el impacto del glifosato sobre los estromatolitos antes de proceder con la aplicación de este herbicida.

Actualmente, investigadores del Instituto de Ecología de la Universidad Nacional Autónoma de México están realizando estudios de campo y laboratorio sobre la toxicidad del glifosato sobre la cianobacteria que da origen a los estromatolitos. Posteriormente se reportarán los resultados a detalle de estos estudios, pero los resultados preliminares indican que *en vitro*, AquaMaster™, la marca registrada bajo la que se vende el glifosato en México, mata tanto la cianobacteria cultivada unicelular como filamentosa pocas semanas después de exposición (Souza pers. comm. 1/30/2006; Falcón et al., 2006 inédito) incluso al nivel más bajo probado ($1.0E-06$; Falcón et al., 2006). Los resultados finales de las pruebas de campo serán importantes porque los experimentos *en vitro* no utilizaron agua de los arroyos del APFFCC y por lo tanto no consideraron la separación y rompimiento natural del glifosato por parte de los minerales innatos y suelos. Los resultados preliminares de las pruebas de campo, meses después de la aplicación de glifosato a *Arundo*, indicaron que los aspectos generales de los estromatolitos adyacentes a los tratamientos no eran visiblemente anormales (Souza, pers comm. 4/19/2006; Hendrickson pers. obs. 5/27/2006).

Análisis posteriores mostraron que las dosis y tiempos del experimento *en vitro* no presentaban un reflejo de las condiciones del campo, así que calculamos de manera independiente las concentraciones de glifosato en el campo que podrían resultar en los canales de Cuatro Ciénegas debido a su aplicación sobre el *Arundo* que crece en las riberas. Basamos nuestro cálculo siguiendo las instrucciones impresas en AquaMaster™ (suministrado como una solución acuosa que es 0.538 sal glifosato isopropilamina por peso), aplicada a un 2% de solución de AquaMaster™ en un rango de 40 galones/acre

(=61.3 litros/hectárea) sobre la comunidad más grande conocida (0.11 hectáreas) durante un periodo de una hora, lo que nuestras pruebas de campo (abajo) con claridad demuestran que es un rango razonable de aplicación. El rocío fuera del blanco (sobre-rocido) puede llegar a un 10% utilizando rociadores al hombro iguales a los programados; sin embargo, esta cifra varía y puede ser tan baja como 4% (Nowak y Ballard, 2005) con procedimientos especiales de aplicación, tales como los que planeamos utilizar. Adicionalmente, Mark Newhouser demostró que casi todas las comunidades pueden ser manipuladas por los aplicadores para asegurar que en la mayoría de los casos que el sobre-rocido caiga sobre el suelo, donde se ha demostrado que el glifosato se degrada con rapidez, en lugar de caer sobre el agua. No obstante, en nuestros cálculos consideramos que un 10% de rocío cayera directamente sobre el agua. Aun cuando la derrama de agua que pasa a través de las muchas comunidades de *Arundo* a ser tratadas no ha sido medida en gran parte, todo el Río Mesquites se desvía hacia el canal Saca Salada y se conoce que su derrama es de 121,659,189 litros/día (Brad Wolaver, University of Texas at Austin, pers. comm. 2005). La mayoría de las comunidades de *Arundo* se encuentran sobre la cuenca principal del Río Mesquites desde inmediatamente arriba de la desviación hacia el canal Saca Salada o en los principales tributarios corriente arriba de este sistema. Estimamos que las comunidades corriente arriba a ser tratados crecen sobre tributarios que pueden derramar tan poco como 10% de la derrama total del canal Saca Salada, así que utilizamos el 10% de la derrama del canal Saca Salada en nuestros cálculos. Dadas las suposiciones arriba descritas para el peor de los casos, una concentración máxima de 1.61E-07 AquaMaster™ pudiera ocurrir en los canales junto a las comunidades tratadas. Realizando los mismos cálculos para una solución al 6% de Glifomar™, la concentración más alta utilizada en nuestras pruebas de campo (abajo), produce una concentración estimada de glifosato en el campo alrededor de 3x la del escenario con AquaMaster™ arriba descrito. Por lo tanto, todas las predicciones, para el peor de los casos, de las concentraciones en el campo resultantes de la aplicación de glifosato en el APFFCC son de una magnitud menor que la concentración más baja probada en los experimentos *en vitro*. Las concentraciones actuales serán con toda probabilidad 2-3 veces menores, dado que el sobre rociado puede controlarse para representar menos de un 10% y la mayor parte caería sobre el suelo y no el agua.

También, las derramas a lo largo de la mayoría de las comunidades serán mayores que las estimadas en nuestros cálculos y la mayoría de las comunidades son de una magnitud menor que las utilizadas en los cálculos.

Pruebas de campo con glifosato para la erradicación de *Arundo* en Cuatro Ciénegas

Bajo la supervisión de los miembros del Grupo de Trabajo para el Control del *Arundo*, el APFFCC y la comunidad local, Mark Newhouser, un especialista con años de experiencia en proyectos de control del *Arundo* en California y Coordinador de Programa para el Centro de Ecología Sonoma, en octubre de 2005 administró la aplicación en el campo de glifosato a *Arundo* en la cuenca de Cuatro Ciénegas fuera del APFFCC.

Newhouser es una persona clave en el equipo *Arundo* del Norte (<http://www.teamarundo.org>), una coalición de agencias gubernamentales, organizaciones no lucrativas, instituciones educativas y propietarios de tierras que comparten el compromiso de erradicar el *Arundo* en áreas fuertemente infestadas de California. Después de un recorrido por las comunidades de *Arundo* a través del APFFCC, Newhouser proporcionó más información técnica para el retiro de las comunidades y estuvo de acuerdo con la conclusión del Grupo de Trabajo para el Control de *Arundo* en el sentido que el retiro manual no era la opción adecuada. Bajo la guía de Newhouser, se realizaron aplicaciones de prueba de glifosato (Glifomar™ [0.46 glifosato por peso] + 0.5% Prospreader surfactant) en tres concentraciones de tratamiento (Glifomar al 1.5%, 3% y 6%); todas mostraron ser efectivas, pero la inspección de las comunidades en febrero y junio de 2006 indicó que las dos concentraciones más altas fueron ligeramente más efectivas que la más baja, con aparentemente poca diferencia entre 3% y 6%. No fue sorprendente observar en junio un nuevo crecimiento limitado a partir de rizomas en la periferia de las comunidades tratadas y confirmó lo que ya se sabía por la experiencia en California, que probablemente se requieran dos o más aplicaciones de glifosato para obtener la total mortalidad de las comunidades.

Acciones de manejo: consideraciones y recomendaciones

Con el fin de proteger el singular ecosistema en el APFFCC y áreas circundantes, los autores del presente trabajo y la mayoría de los participantes en el Taller para el Control del *Arundo* en Cuatro Ciénegas 2005 están de acuerdo en que el *Arundo* debe ser controlado. La alternativa, permitir que permanezca en el área y tenga una invasión

incontrolada, es claramente no aconsejable debido al historial de invasiones de esta especie a través de Norteamérica. Además, al igual que en muchas otras áreas del mundo invadidas por *Arundo*, hay un umbral más allá del cual ninguna cantidad de recursos u horas hombre pueden controlar la especie. Nos encontramos en una posición inusual e ideal en Cuatro Ciénegas para controlar una especie no nativa e invasora en las etapas iniciales de invasión. Es posible que el control dentro del APFFCC requiera de la aplicación cuidadosa y bien estudiada de un herbicida basado en glifosato aprobado para su uso humedales, posiblemente aplicado a fines de la temporada de floración (octubre) (Bell, 1997; Monsanto, 2002), y que este herbicida se aplique minimizando, si no eliminando, los impactos adversos sobre el ecosistema de Cuatro Ciénegas. Independientemente de los métodos utilizados para el control del *Arundo*, sugerimos a los administradores de la zona enfocarse primero a retirar el *Arundo* en los canales naturales de agua en las áreas centrales del APFFCC y restablecer la condición existente antes de la invasión y después, para evitar una nueva invasión, proceder al exterminio de *Arundo* en las áreas agrícolas, residenciales y recreativas periféricas al núcleo y alrededor del APFFCC.

Expertos en la erradicación del *Arundo* que han presenciado la invasión de Cuatro Ciénegas realizaron varias recomendaciones con el fin de lograr un ecosistema robusto y libre de *Arundo*. Éstas incluyen: (1) quienes apliquen el herbicida deben ser capacitados por personal experimentado; (2) iniciar el tratamiento de la invasión desde la parte superior de la cuenca y trabajar corriente abajo; (3) monitorear las comunidades tratadas mensualmente durante 24 meses; (4) aplicar tratamiento a todo nuevo crecimiento; (5) monitorear las comunidades tratadas cada año después del periodo de 24 meses y con mayor frecuencia durante y después de cualquier evento que presente un disturbio para el área (por ejemplo, construcciones, inundaciones o incendios). Durante estas sesiones de monitoreo, se espera que se realicen estudios de las dinámicas de reestablecimiento ribereño en las áreas tratadas y que estos estudios ayuden a determinar si es necesaria una reforestación activa. Además, al trabajar desde la parte superior de la cuenca se pueden incluir áreas que no se encuentran directamente dentro del APFFCC tales como El Cañón, que fluye hacia la población de Cuatro Ciénegas desde el norte.

El costo de un impacto negativo transitorio y mínimo del herbicida o, alternativamente, el impacto del retiro manual, debe considerarse en vista de los efectos posibles a largo plazo del *Arundo* sobre el ecosistema, como también debe considerarse la relativa facilidad de implementar acciones de control en esta etapa temprana de la invasión en lugar de hacerlo más adelante cuando es más probable que las comunidades sean más abundantes y se encuentren esparcidas en un área mayor. El consumo extremo de agua en comparación con la vegetación ribereña nativa del APFFCC, azolve, cambios inevitables en el flujo de nutrientes y amenaza de incendios asociados con una mayor presencia de esta planta, será sin duda desfavorable para el ecosistema de Cuatro Ciénegas. Debido a la agresiva invasión de otros hábitat acuáticos en otros lugares, incluyendo una comunidad mono-específica de aproximadamente 250 acres localizada actualmente a poca distancia abajo del valle de Cuatro Ciénegas en el Río Salado de los Nadadores, podemos tener la certeza de que si no se realizan esfuerzos para su control el *Arundo* eventualmente se extenderá sobre un área mucho mayor dentro del APFFCC.

Aun cuando no se ha considerado dentro del presente proyecto de erradicación enfocado al APFFCC, la erradicación de *Arundo* del Río Salado de los Nadadores abajo del valle de Cuatro Ciénegas podría ahorrar una gran cantidad de acres de metros de agua por año para actividades agrícolas y si el Río Salado darter todavía se encuentra en esta área, su hábitat preferido podría reestablecerse después del control del *Arundo*. Proponemos un análisis costo-beneficio para el proyecto de erradicación en esta área. Finalmente, mientras que los esfuerzos de control en el APFFCC deben enfocarse primero sobre el *Arundo*, se planea también la erradicación simultánea de *Tamarisk ramosissima*, en el APFFCC. Se sabe que *Tamarisk* también se localiza en sitios ampliamente esparcidos del APFFCC, es una plaga invasora bien conocida en muchas zonas desérticas de Norteamérica y su nivel de evapora-transpiración es aproximadamente el doble de la vegetación nativa (Shafroth et al., 2005). Aun cuando en la actualidad parece presentar una amenaza menor a la integridad del ecosistema en el APFFCC que el *Arundo*, a futuro puede significar una amenaza similar o mayor, por lo que se recomienda se realicen esfuerzos para su control de manera simultánea al control del *Arundo*.

Información adicional del *Arundo* y su manejo en Cuatro Ciénegas, así como posteriores actualizaciones sobre el estatus del proyecto de control, estarán disponibles en línea (Hendrickson and McGaugh 2005).

RECONOCIMIENTOS

Después de los primeros dos, los autores se enlistan de manera alfabética. Todos los autores son miembros del Grupo de Trabajo para el Control del *Arundo* en Cuatro Ciénegas y la presente contribución es el resultado de la versión del Plan de Erradicación del *Arundo* en Cuatro Ciénegas del 1° de septiembre de 2005 (McGaugh et al. 2005) elaborado por algunos de los autores de la presente contribución trabajando como un subcomité de este grupo. Otros miembros del Grupo de Trabajo se unieron al subcomité para la elaboración de la segunda versión del Plan de Erradicación del *Arundo* (inédito) y para la redacción del presente trabajo. El Taller para el Control del *Arundo* de junio de 2005, que inició los trabajos para la elaboración del Plan de Erradicación y que reunió a los autores y a otras personas, no hubiera sido posible sin el patrocinio de PRONATURA-Noreste y The Nature Conservancy, quienes también apoyaron los estudios sobre el impacto de los herbicidas en los estromatolitos en el laboratorio de la Dra. Valeria Souza (Falcón et al. 2006) y las pruebas realizadas en el campo de los efectos de los herbicidas, así como el trabajo con la comunidad y capacitación en el uso de herbicidas y otras consultas con Mark Newhouser. También fue fundamental la información proporcionada por otros especialistas que participaron en el Taller para el Control del *Arundo* de junio de 2005 (procedentes de Desuvalle, A.C., la Universidad Iberoamericana, el Instituto de Ecología de la UNAM (IE/UNAM), CONANP y la comunidad de Cuatro Ciénegas) para la elaboración de la primera versión del Plan de Erradicación del *Arundo* y por lo tanto del presente trabajo.

Juan Carlos Ibarra, sub-director del APFFCC, ha tenido una aportación muy útil al participar en las reuniones sobre el *Arundo* en Cuatro Ciénegas y en el trabajo de campo relacionado, así como Benigno Vásquez. También fueron de gran ayuda los comentarios de Adam E. Cohen y de diversas personas que han revisado el presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- BELL, G.P. 1993a. Santa Margarita management plan for the control of Giant Reed (*A. donax*). The Nature Conservancy.
- BELL, G.P. 1993b. Prado Basin resource management plan for the control of Giant Reed (*A. donax*). The Nature Conservancy.
- BELL, G.P. 1997. Ecology and management of *A. donax* and approaches to riparian habitat restoration in southern California. Pg. 103-113 in J.H. Brock, M. Wade P. Pysek, y D. Green, eds. *Plant Invasion: Studies from North America and Europe*. Leiden, The Netherlands: Backhuys.
- BOOSE, A. B., Y J. S. HOLT. 1999. Environmental effects on asexual reproduction in *Arundo donax*. *Weeds Research* 39:117-127.
- BURNS, B.P., F. GOH, M. ALLEN Y B.A. NEILAN. 2004. Microbial diversity of extant stromatolites in the hypersaline marine environment of Shark Bay, Australia. *Environmental Microbiology* 6: 1096–1101.
- DUDLEY, T. L. 2000. *A. donax donax* L. Pg 53-58 in C.C. Bossard, J. M. Randall, y M.C. Hoshovsky, eds. *Invasive Plants of California's Wildlands*. Berkeley, CA: University of California Press.
- ELSE, J.A. 1996. Post-flood establishment of native woody species and an exotic, *Arundo donax*, in a southern California riparian system. M.S. Thesis, San Diego State University.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AUTHORITY OF WESTERN AUSTRALIA. 2001. Shark Bay World Heritage Property: Environmental values cultural uses and potential petroleum industry impacts. http://www.epa.wa.gov.au/docs/1642_SBWHP_Report01.pdf
- EVERITT, J. H., C. YANG, M. A. ALANIZ, M. R. DAVIS, F. L. Nibling, y C. J. Deloach. 2004. Canopy spectra of giant reed and associated vegetation. *Journal of Range Management* 57:561-569.
- FALCÓN, LUISA I, LUIS E EGUIARTE Y VALERIA SOUZA. 2006. Report on the Proposed Use of Aquamaster In Cuatro Ciénegas, Coahuila, México as a Mechanism to Control *Arundo donax*. Reporte inédito, Laboratorio de Evolución Molecular y Experimental, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. Recibido el 3 de julio de 2006. (disponible via <http://desertfishes.org/cuatroc/organisms/non-native/arundo/Arundo.html>).
- GARCIA-PICHEL, F., F.A. AL-HORANI, J.D. FARMER, R. LUDWIG, B.D. WADE. 2004. Balance between microbial calcification and metazoan bioerosion in modern stromatolitic oncolites. *Geobiology* 2:1-49.
- HENDRICKSON, D.A. Y S. MCGAUGH. 2005. *Arundo donax* (Carrizo Grande / Giant Cane) in Cuatro Ciénegas (<http://desertfishes.org/cuatroc/organisms/non-native/arundo/Arundo.html>).
- HENDRICKSON, D.A., F. GARCÍA DE LEÓN Y V. SOUZA. 2005. Proceedings of the First meeting of Cuatrociénegas researchers. (<http://desertfishes.org/cuatroc/meeting/junta/2004/index.html>).
- HOOPER, D.U. Y P.M. VITOUSEK. 1998. Effects of plant composition and diversity on nutrient cycling. *Ecological Monographs* 68: 121-149.
- KHUDAMRONGSAWAT, J., R. TAYYAR, Y J. S. HOLT. 2004. Genetic diversity of Giant Reed (*A. donax donax*) in the Santa Ana River, California. *Weed Science*. 52: 395-405.
- MARGULIS, L. (1981) *Symbiosis in Cell Evolution: Life and Its Environment on the Early Earth* (Freeman, San Francisco).
- MCGAUGH, S., D. A. HENDRICKSON, G. BELL, T. DUDLEY, K. LYONS, V. SOUZA Y L. MCEACHRON. 2006. Borrador *Arundo* Eradication Plan: Cuatro Ciénegas, Coahuila, México. (Versión de Septiembre 01, 2005 Versión, http://desertfishes.org/cuatroc/organisms/non-native/arundo/Arundo_Eradication_Plan_version2005_09_01.pdf)
- MITCHELL, C.E., D. TILMAN, Y J.V. GROTH. 2002. Effects of grassland plant species diversity, abundance, and composition of foliar fungal disease. *Ecology* 83: 1713–1726.
- MONHEIT, S. 2002. Glyphosphate-based aquatic herbicides: An overview of risk. *Noxious Times* 6(2):1-10.
- MONSANTO. 2002. AquaMaster™: Herbicide by Monsanto, Specimen Label. <http://www.cdms.net/ldat/ld4BL000.pdf>
- NOWAK, C.A. Y BALLARD, B.D. 2005. Off target herbicide deposition associated with treating individual trees. *Environmental Management* 36: 237-247.
- POLUNIN, O. Y A. HUXLEY. 1987. *Flowers of the Mediterranean*. Hogarth Press, London.

- SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL. 1994. Decreto por el que se declara como área protegida, con el carácter de protección de flora y fauna, la región conocida como Cuatro Ciénegas, municipio de Cuatro Ciénegas, Coahuila. Diario Oficial De La Federación, México CDXCIV(5):5-11.
- SHAFROTH, P.B., J.R. CLEVERLY, T.L. DUDLEY, J.P. TAYLOR, C. VAN RIPER III, E.P. WEEKS. Y J.N. STUART. 2005. Control of Tamarix in the Western United States: Implications for Water Salvage, Wildlife Use, and Riparian Restoration. *Environmental Management* 35:231-246.
- SOUZA, V., L. ESPINOSA-ASUAR, A.E. ESCALANTE, L.E. EGUIARTE, J. FARMER, L. FORNEY, L. LLORET, J.M. RODRIGUEZ-MARTINEZ, X. SOBERON, R. DIRZO, Y J.J. ELSER. 2006. An endangered oasis of aquatic microbial biodiversity in the Chihuahuan desert. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103 (17):6565-6570.
- STEIN, B.A., L.S. KUTNER, Y J.S. ADAMS, editores. 2000. *Precious Heritage: The Status of Biodiversity in the United States*. Oxford University Press, Oxford.
- TILLMAN, D. 1996. Biodiversity: Population versus ecosystem stability. *Ecology* 77: 350-363.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1993. Reregistration Eligibility Decision Facts: Glyphosate. (disponible en <http://www.epa.gov/oppsrdr1/REDs/factsheets/0178fact.pdf>)
- WILLIAMS, G.M., KROES, R., Y MUNRO, I.C. 2000. Safety evaluation and risk assessment of the herbicide Roundup and its active ingredient, glyphosate, for humans. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 31:117-165.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. 1994. International programme on chemical safety: Environmental health criteria 159: Glyphosate. Published under the joint sponsorship of the United Nations Environment Programme, the International Labour Organisation, and the World Health Organization. Disponible en <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc159.htm>.



Figura 1. Vista de satélite (adaptado de Hendrickson y McGaugh 2005) del valle de Cuatro Ciénegas desde Google Earth en el que se ilustra las locaciones de todas las comunidades conocidas de *Arundo* a la fecha de junio de 2006 (los círculos rojos con signos de exclamación en amarillo). La vista es desde el norte del poblado de Cuatro Ciénegas (visible en parte inferior centro) viendo hacia el sureste. La punta de la Sierra San Marcos y Pinos se encuentra en el extremo central derecho de la figura. En la parte inferior derecha frontal se encuentran los campos de alfalfa irrigados con agua subterránea del Valle Calaveras. Puede descargarse el archivo Google Earth donde se obtuvo esta imagen para una inspección más detallada y obtener las coordenadas de cada comunidad en http://desertfishes.org/cuatroc/organisms/non-native/arundo/Arundo.html#where_CC.



Figura 2. Benigno Vásquez de Cuatro Ciénegas muestra las plantas *Arundo donax* aproximadamente dos semanas después de una quema por la carretera a Ocampo, Cuatro Ciénegas, Coahuila, México (fotografía Suzanne McGaugh).