

Special Publications Vol. 1
Publicaciones Especiales Vol. 1

CONSERVATION OF DESERT WETLANDS AND THEIR BIOTAS / CONSERVACIÓN DE HUMEDALES DESÉRTICOS Y SU BIOTA



Mauricio De la Maza-Benignos • Lilia Vela-Valladares • Ma. de Lourdes
Lozano-Vilano • María Elena García-Ramírez • Jenny Zapata-López •
Armando Jesús Contreras-Balderas • Evan W. Carson

ISBN: Registro en proceso

Primera edición, agosto de 2014. D.R. © Pronatura Noreste, A.C., Universidad Autónoma de Nuevo León y University of New Mexico, 2014.

Para mayor información contactar a: Pronatura Noreste, A.C., Loma Grande #2623, Col. Loma Larga, Monterrey, N.L. México
www.pronaturane.org

CONSERVATION OF DESERT WETLANDS AND THEIR BIOTAS / CONSERVACIÓN DE HUMEDALES DESÉRTICOS Y SU BIOTA se publicó electrónicamente en agosto de 2014.

Fotografía de portada, macho de *Cyprinodon julimes*: © Mauricio De la Maza-Benignos.

Fotografía de contraportada, manantial El Pandeño: © Lilia Vela-Valladares.

Mapa de la cuenca del río Conchos: © Alejandro Garza-Sánchez

Figuras: © Evan W. Carson

Otras fotografías de El Pandeño: © Mauricio De la Maza-Benignos.

CONSERVATION OF DESERT WETLANDS AND THEIR BIOTAS / CONSERVACIÓN DE HUMEDALES DESÉRTICOS Y SU BIOTA

Edición: Mauricio De la Maza Benignos, Ma. de Lourdes Lozano-Vilano & Evan W. Carson

Coordinación de proyecto editorial: Mauricio De la Maza-Benignos

Citation / Cómo citar esta publicación.

In general / En general:

In English:

De la Maza-Benignos, M., Ma. de Lourdes Lozano-Vilano & E.W. Carson (eds.) (2014). Conservation of desert wetlands and their biotas, Vol 1. Special Publications. Museum of Southwestern Biology, Pronatura Noreste, and Universidad Autónoma de Nuevo León.

En Español:

De la Maza-Benignos, M., Ma. de Lourdes Lozano-Vilano & E.W. Carson (eds) (2014). Conservación de humedales desérticos y su biota, Vol 1. Publicaciones Especiales. Museum of Southwestern Biology, Pronatura Noreste y Universidad Autónoma de Nuevo León.

The manuscript in particular / El artículo en lo particular:

In English:

De la Maza-Benignos, M., L. Vela-Valladares, M.L. Lozano-Vilano, M.E. García-Ramírez, J. Zapata-López, A.J. Contreras-Balderas and E.W. Carson. (2014) The potential of holistic approaches to conservation of desert springs: a case study of El Pandeño Spring and its microendemic pupfish Cyprinodon julimes in the Chihuahuan Desert at Julimes, Chihuahua, Mexico. In: M. De la Maza-Benignos, Ma. de Lourdes Lozano-Vilano & E.W. Carson (eds.) Conservation of desert wetlands and their biotas, Special Publications. Museum of Southwestern Biology, Pronatura Noreste y Universidad Autónoma de Nuevo León. Vol 1.

En Español:

De la Maza-Benignos, M., L. Vela-Valladares, M.L. Lozano-Vilano, M.E. García-Ramírez, J. Zapata-López, A.J. Contreras-Balderas y E. W. Carson. (2014) El potencial de los enfoques holísticos en la conservación de humedales de zonas áridas: un estudio de caso del manantial El Pandeño en Julimes, Chihuahua, México y su pez microendémico *Cyprinodon julimes* del Desierto Chihuahuense. En: M. De la Maza-Benignos, Ma. de Lourdes Lozano-Vilano & E.W. Carson (eds). *Conservación de humedales desérticos y su biota, Publicaciones Especiales*. Museum of Southwestern Biology, Pronatura Noreste y Universidad Autónoma de Nuevo León. Vol 1.

UNM Latin American & Iberian Institute (LAI's), <http://laii.unm.edu/>
The LAI's mission is to create a stimulating environment for the production and dissemination of knowledge of Latin America and Iberia at UNM. We believe our goals are best pursued by efforts to build upon the insights of more than one academic discipline. We support research from the humanities and social sciences, as well as the natural sciences, health sciences, and other professional schools. Therefore, when allocating materials and human resources, we give special consideration to broadly interdisciplinary projects that promote active collaboration from different schools, colleges, and/or departments.

Pronatura Noreste, A.C. (PNE), www.pronaturane.org es una organización no gubernamental mexicana sin fines de lucro cuya misión es conservar la flora, la fauna y los ecosistemas prioritarios del noreste mexicano, promoviendo un desarrollo de la sociedad en armonía con la naturaleza. PNE forma parte del Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas.

The University of New Mexico's Museum of Southwestern Biology, <http://www.msb.unm.edu/> is a research and teaching facility in the Department of Biology of the University of New Mexico. Through its world-class natural history collections, associated databases, and staff expertise, MSB provides significant research infrastructure, meaningful undergraduate experiences, cutting-edge graduate training, and substantial public-service and outreach.

La Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León <http://www.fcb.uanl.mx/www/> tiene como misión formar profesionistas con excelencia académica y científica en el campo de las ciencias biológicas, que correspondan con eficacia a las demandas prioritarias de la sociedad.



Conservation of desert wetlands and their biotas Conservación de humedales desérti- cos y sus biota

**THE POTENTIAL OF HOLISTIC APPROACHES TO CONSERVATION
OF DESERT SPRINGS: A CASE STUDY OF EL PANDEÑO SPRING
AND ITS MICROENDEMIC PUPFISH CYPRINODON JULIMES IN
THE CHIHUAHUAN DESERT AT JULIMES, CHIHUAHUA, MÉXICO**

**EI POTENCIAL DE LOS ENFOQUES HOLÍSTICOS EN LA CONSERVACIÓN
DE HUMEDALES DE ZONAS ÁRIDAS: UN ESTUDIO DE CASO DEL
MANANTIAL EL PANDEÑO EN JULIMES, CHIHUAHUA, MÉXICO Y SU PEZ
MICROENDÉMICO CYPRINODON JULIMES DEL DESIERTO CHIHUAHUENSE**

Mauricio De la Maza-Benignos^{*1}, Lilia Vela-Valladares¹, Ma. de Lourdes
Lozano-Vilano², María Elena García-Ramírez², Jenny Zapata-López³,
Armando Jesús Contreras-Balderas², and Evan W. Carson⁴

¹ mmaza@pronaturane.org Pronatura Noreste, A. C., Loma Larga 235, Col. Loma Larga, Monterrey, N. L., México, 64710

² Laboratorio de Ictiología, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, N.L., México

³ Climate Action Network Latin America (CAN-LA)

⁴ Department of Biology and Museum of Southwestern Biology, University of New Mexico, Albuquerque, U.S.

KEY WORDS: Rio Conchos, water resources management, biodiversity, climate change adaptation, hot springs, Chihuahuan Desert

PALABRAS CLAVE: Río Conchos, manejo de recursos hídricos, biodiversidad, adaptación al cambio climático, manantiales geotermales, Desierto Chihuahuense

FOREWORD BY THOMAS F. TURNER

The work of De la Maza-Benignos *et al.* exemplifies the importance of collaborative approaches to biodiversity conservation. The authors combine bi-national and cross-disciplinary partnership with engagement with a local community of farmers to create a model of biodiversity conservation through sustainable development of water resources. This approach to conservation of aquatic arid-land ecosystems has great potential for broader application in Mexico, the southwestern United States and other regions of the world.

PREFACIO POR THOMAS F. TURNER

El trabajo de la Maza-Benignos *et al.* ejemplifica la importancia de los enfoques colaborativos para la conservación de la biodiversidad. Los autores combinan una asociación binacional y multidisciplinaria con el involucramiento por parte de una comunidad local de agricultores para crear un modelo de conservación de la biodiversidad basado en el desarrollo sostenible de los recursos hídricos. Este enfoque de conservación de ecosistemas acuáticos y terrestres tiene un gran potencial de aplicación más amplia en México, el suroeste de Estados Unidos y otras regiones del mundo.

Thomas F. Turner
Curator of Fishes, Museum of Southwestern Biology
Professor, Department of Biology
University of New Mexico

FOREWORD BY SUSAN TIANO

Conservation of desert wetlands and their biotas shows what can be achieved through a collaborative approach that unites scientists, land managers, farmers and other stakeholders to conserve fragile desert ecosystems. In confronting the challenges of working across borders—be they national, cultural, social, or intellectual--the authors have outlined an interdisciplinary agenda for biodiversity conservation that has broad relevance for regions throughout Latin America and the rest of the world that are coping with water shortages. The work will have far-reaching appeal to anyone interested in the sustainable development of communities and their natural resources.

PREFACIO POR SUSAN TIANO

Conservación de humedales desérticos y su biota, muestra lo que puede lograrse a través de un enfoque de colaboración que une a científicos, manejadores de tierras, agricultores y otras partes interesadas para conservar los frágiles ecosistemas del desierto. Al afrontar los desafíos del trabajo transfronterizo —ya sean nacionales, culturales, sociales, o intelectuales-- los autores han descrito una agenda interdisciplinaria para la conservación de la biodiversidad que tiene gran relevancia para las regiones de América Latina y el resto del mundo que están padeciendo de la escasez del agua. La obra será de un gran interés para cualquiera interesado en el desarrollo sostenible de las comunidades y sus recursos naturales.

Susan Tiano
Professor of Sociology
Director, Latin American and Iberian Institute
University of New Mexico

FOREWORD BY JOSEPH A. COOK

Conservation of desert wetlands and their biotas outlines the challenges of implementing effective conservation measures in the arid Southwest of North America. This is frontline conservation that ties together a cutting-edge conservation research agenda with a vital signs monitoring program and outreach to local communities and land managers. The authors explore how we can durably protect desert ecosystems over the long run and provide a model that has been applied to various land ownership systems in Mexico. As such, this set of examples and the use of pupfishes and other aquatic organisms to monitor change are emblematic of how conservation efforts could be applied throughout the Southwest. There is much to learn from this bi-national effort and much that could be applied throughout the region.

PREFACIO POR JOSEPH A. COOK

Conservación de humedales desérticos y sus biota, esboza los desafíos de la implementación de medidas efectivas de conservación en el árido suroeste de América del Norte. Se trata de conservación de primera línea que une una agenda vanguardista de investigación científica de conservación con un programa de monitoreo de signos vitales y extensionismo a las comunidades locales y manejadores de tierras. Los autores exploran cómo podemos proteger en el largo plazo, de forma duradera los ecosistemas desérticos, y proporcionan un modelo que se ha aplicado a diversas formas de tenencia de la tierra en México. Como tal, este conjunto de ejemplos y el uso de los peces cachorritos y otros organismos acuáticos para monitorear el cambio son emblemáticos de cómo se podrían aplicar los esfuerzos de conservación en todo el Suroeste. Hay mucho que aprender de este esfuerzo binacional y mucho que se podría aplicar en toda la región.

Joseph A. Cook
Director, Museum of Southwestern Biology
University of New Mexico

PRÓLOGO POR MAGDALENA ROVALO

Para Pronatura Noreste A.C., el Desierto Chihuahuense ha sido objeto de su misión y visión desde su creación en 1998. Desierto que no está desierto, sino que es una fuente inimaginable de biodiversidad y cuerpos de agua únicos en el mundo, así como también semeja una esponja gigante que absorbe gran cantidad del agua que utilizan las ciudades que dependen del desierto.

A través de estos quince años, y desde tiempo atrás, la explotación de los recursos hídricos para el desarrollo agrícola y para abastecer los centros de población en el Desierto Chihuahuense ha ido mermando su poco entendida biodiversidad, así como ha ido restando valor a los humedales y cuerpos de agua, que aunque la mayoría de las veces pequeños, son una fuente inesperada de riqueza biológica y genética para las futuras generaciones.

Es por ello que para Pronatura Noreste, *Conservación de humedales desérticos y su biota*, plasma todas las problemáticas a las que se enfrenta este ecosistema: cambios de uso del suelo, extinciones, la prioridad gubernamental de dotar de agua al uso agrícola y a las ciudades, el no entendimiento del valor ambiental y legal del recurso hídrico; y señala con gran claridad y con el caso de Julimes en Chihuahua, el valor biológico que tienen las especies vivas del desierto como lo son los peces al ser indicadores de la salud del planeta, mitigadores del cambio climático, y guardianes de la herencia biológica que es fuente de medicinas y alimentos para las futuras generaciones. Esta publicación también nos dice que conservar estos humedales es conservar todas las otras formas de vida del desierto, y más importante aún, que el uso sostenible del agua, tan escasa, no está reñido con el desarrollo económico de las comunidades humanas que de ella dependen para sus actividades de subsistencia como la agricultura y ganadería.

PROLOGUE BY MAGDALENA ROVALO

Ever since its foundation in 1998, Pronatura Noreste A.C. carried out its mission and vision through conservation work in the Chihuahuan Desert. The Chihuahuan Desert is not a barren place but an incredible source of biodiversity, especially within unique water bodies. The Chihuahuan Desert also is similar to a giant sponge because it is capable of absorbing the considerable volumes of water that supply the towns and cities within its borders.

During the past fifteen years, especially –but also and long before– the overexploitation of water resources for agricultural development and urban supply in the Chihuahuan Desert has imperiled its water bodies, as well as has caused a steep decline in its biodiversity. While much of this biodiversity remains poorly understood, the environmental value of wetlands is well known, and even small systems contain extraordinary biological and genetic wealth.

For these reasons, Pronatura Noreste endorses *Conservation of desert wetlands and their biotas*. This case study thoroughly describes conservation challenges posed by local and landscape-scale environmental stressors in the Chihuahuan Desert, stressors that include land use changes, biological extinctions, the government's priority of providing water for agricultural use and cities without considering the environment, and misinterpretations of the legal and environmental value of water resources. Through the case study of Julimes in Chihuahua, this study also notes with great clarity the irreplaceable biological value of the living desert and its species. For instance, the value of fish species as indicators of the planet's health and climate change is well described, as is the value of our natural heritage as a source of food and medicine for the future generations. This publication shows us how preserving the desert wetlands can help in achieving the broader goals of conserving other forms of desert life, and, more importantly, that the sustainable use of scarce water is not incompatible with economic development of the human communities that depend on this resource for their livelihoods and enjoyment.

María Magdalena Rovalo-Merino
Directora General
Pronatura Noreste, A.C.

THE POTENTIAL OF HOLISTIC APPROACHES TO CONSERVATION OF DESERT SPRINGS: A CASE STUDY OF EL PANDEÑO SPRING AND ITS MICROENDEMIC PUPFISH *CYPRINODON JULIMES* IN THE CHIHUAHUAN DESERT AT JULIMES, CHIHUAHUA, MÉXICO



EL POTENCIAL DE LOS ENFOQUES HOLÍSTICOS EN LA CONSERVACIÓN DE HUMEDALES DE ZONAS ÁRIDAS: UN ESTUDIO DE CASO DEL MANANTIAL EL PANDEÑO EN JULIMES, CHIHUAHUA, MÉXICO Y SU PEZ MICROENDÉMICO *CYPRINODON JULIMES* DEL DESIERTO CHIHUAHUENSE

ABSTRACT

The biological diversity of arid and semi-arid ecosystems is threatened by exploitation of water resources for agricultural and economic development. As demand for the scarce water supplies of these regions has increased in recent decades in North America, efforts to moderate consumptive water use generally have been unsuccessful. This problem is highlighted in Mexico, where arid and semi-arid regions represent approximately 65% of the land area and are home to over 46% of the populace. The Chihuahuan Desert is the largest and most biodiverse desert in Mexico, and also is one of the more degraded by unsustainable use of water resources. In a potential paradigm shift, however, farmers in Julimes, Chihuahua, chartered an NGO in 2007 to operate under a rational model of resource utilization, which is based on the rationale that the long-term sustainability of this farmer-community is dependent on continued reliability of the waters of El Pandeño Spring for crop irrigation and other agricultural activities. Under a model circumscribed in but never implemented under the 1992 Mexican National Water Law, farmers in Julimes partnered with the NGO Pronatura Noreste, A. C., to independently implement the model to manage El Pandeño Spring under the Vital Signs Monitoring Program. This program monitors environmental conditions and biotic components of the ecosystem, with explicit focus on the endemic Julimes pupfish *Cyprinodon julimes* as a bio-indicator of sustainable water use. We present a case study of the management program for El Pandeño Spring and the Julimes pupfish, discuss management actions that have aided or hindered program success, and review results from scientific studies of this system. Lessons learned from this biodiversity-focused water management initiative will aid development of more effective policies for conservation of freshwaters locally, regionally, and, potentially, for arid and semi-arid regions more broadly.

RESUMEN

La diversidad biológica de los ecosistemas áridos y semiáridos se ve amenazada por la explotación de los recursos hídricos para el desarrollo agrícola y económico. Conforme la demanda por recursos hídricos en estas regiones de Norteamérica se ha incrementado en las últimas décadas, los esfuerzos para moderar su uso no han sido exitosos. Este problema se pone de relieve en las regiones áridas y semiáridas de México, que representan aproximadamente el 65 % de su superficie terrestre y más del 46 % de su población. El Desierto Chihuahuense es el desierto más grande y más biodiverso de México. También es uno de los más degradados por el uso insostenible del agua. Sin embargo, en un posible cambio de paradigma, los agricultores de Julimes, Chihuahua, conformaron en 2007 una Asociación Civil con el fin de operar bajo un modelo racional de utilización de recursos naturales basado en la idea de que la sostenibilidad a largo plazo de la comunidad agrícola depende del suministro confiable y continuo del agua para riego que mana del manantial El Pandeño. Bajo un modelo circunscrito en la Ley de Aguas Nacionales de 1992 de México, más nunca antes implementado, los agricultores de Julimes se asociaron con la ONG Pronatura Noreste, A.C. para aplicar de forma independiente un modelo para la gestión integral del manantial El Pandeño bajo un Programa de Monitoreo de Signos Vitales. Dicho programa busca monitorear las condiciones ambientales y los componentes bióticos del ecosistema, con un enfoque en la especie microendémica de pez cachorrito de Julimes (*Cyprinodon julimes*) como bio-indicador de sostenibilidad en el uso del agua. Se presenta un estudio de caso del programa de gestión para el manantial El Pandeño y su pez, el cachorrito de Julimes. Se analizan las acciones de manejo que han ayudado u obstaculizado el éxito del programa, así como los resultados de los estudios científicos llevados a cabo como parte integral de este modelo. Las lecciones aprendidas a partir de esta iniciativa de gestión del agua, centrada en la biodiversidad ayudarán al desarrollo de políticas más eficaces para la conservación de las aguas continentales a nivel local, regional, y potencialmente, las regiones áridas y semiáridas más allá de esta región.

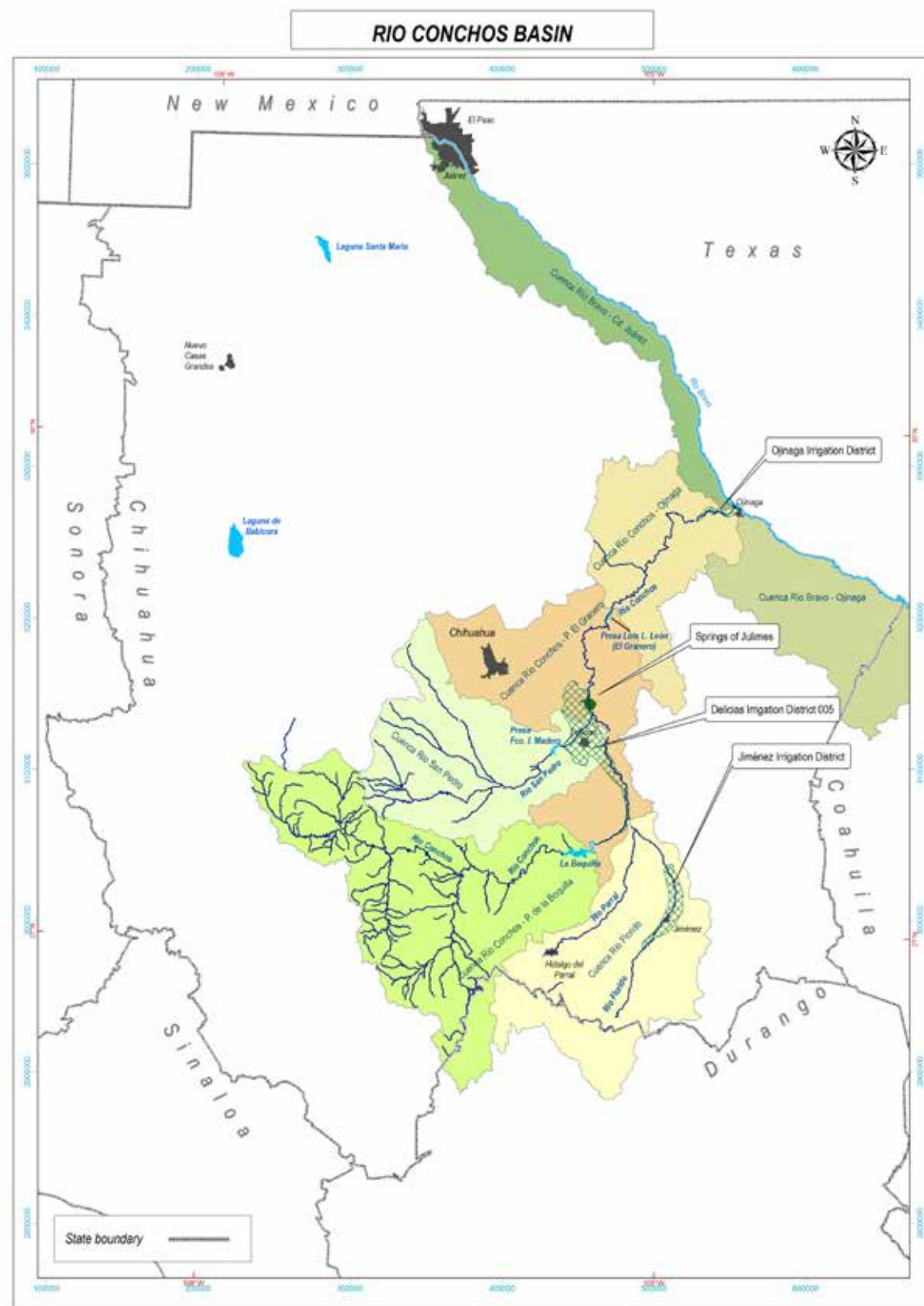


Figure 1. Map of the Rio Conchos basin, Chihuahua, México, and its major irrigation districts

Figura 1. Mapa de la cuenca del río Conchos, Chihuahua, México y sus principales distritos de riego.



I. *INRODUCTION* / INTRODUCCIÓN

Economic development in arid and semi-arid regions of the world in recent decades has largely led to unsustainable yet increasing demand for natural resources (De la Maza-Benignos *et al.* 2012). This has produced formidable challenges for balancing immediate needs of humans, long-term sustainability of resources, and conservation of biodiversity. Added to this challenge is that many semi-arid tropic and sub-tropic regions are likely to experience increased aridity as a result of climate change (Falkenmark 2013). Although negative effects of resource depletion, including local and regional water stress, ecological distress, desertification, social tension, and loss of biodiversity, are already substantial, efforts to arrest and reverse this degradation have largely been ineffectual, primarily because of the general failure to achieve sustainable development of groundwater and surface water resources (Duda & El-Ashry 2000; Brown 2005; Barrios *et al.* 2009). Furthermore, nuanced political realities that have, to various degrees, paralyzed progress in environmental governance also have exacerbated the effects of these stressors (Gleick 1993; Brauch 2006). These problems are exemplified in Mexico, where growing demands on scarce water resources, especially in the arid north (Cohen 2005; CONAGUA 2007), could jeopardize the social and economic development of approximately 65% of the territory and over 46% of the population (Barrios *et al.* 2009; SEMARNAT 2008).

The abundance and biotic diversity of aquatic systems in the Chihuahuan Desert are unusually high for a desert region (De la Maza-Benignos *et al.* 2014). In fact, the high level of endemism of aquatic organisms in this region is internationally recognized for its global importance (Olson & Dinerstein 1998, Dinerstein *et al.* 2001). The Chihuahuan Desert is the largest desert eco-region in Mexico, the largest desert ecosystem in North America, and among the more biodiverse deserts in the world (De la Maza-Benignos *et al.* 2009). However, over allocation and excessive extraction of water have already caused severe ecological degradation of the Chihuahuan Desert (Williams *et al.* 1985; Edwards *et al.* 2002). Loss of highly endemic faunas has occurred as a consequence, with the best documented example being the extinction of the pupfishes of the Sandia valley (*Cyprinodon longidorsalis*, *C. veronicae*, *C. inmemoriam*, and *C. cecilia*) and Potosí valley (*C. alvarezi* and *Megupsilon aporus*). Most of these species disappeared within only a few years of their discovery (Contreras-Balderas & Lozano-Vilano 1996).

We provide a case study of the implementation of a novel model for biodiversity conservation and sustainable development of wetlands in arid lands. This project is centered on monitoring of the environmental conditions of “El Pandeño Spring,” a desert spring located in the Rio Conchos Basin in the state of Chihuahua, Mexico. The endangered, microendemic Julimes pupfish *Cyprinodon julimes* is the focal species for this model because this species is a sensitive bio-indicator of ecological change in the system. We discuss the program relative to initial challenges, procedures for establishment, remaining shortcomings, and the legal precedent this project set for water resource conservation in Mexico. We also discuss the information this program has produced about El Pandeño Spring (geomorphology, hydrology, and anthropogenic history) and about the Julimes pupfish (basic biology, ecology, and conservation genetic status). Finally, we discuss how this model may advance broader efforts toward biodiversity conservation of desert spring and wetland systems in the Rio Conchos basin, the Chihuahuan Desert, and other arid regions of the world, especially through integration of building capacity and security of human communities, biodiversity-focused water management, and development of policies and practices for sustainable utilization of water resources in arid lands.

El desarrollo económico de las últimas décadas en las regiones áridas y semiáridas del planeta generó una demanda insostenible y cada vez mayor de recursos naturales (De la Maza-Benignos *et al.* 2012). Enfrentamos el gran desafío de equilibrar las necesidades humanas inmediatas con el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y la conservación de la biodiversidad, al tiempo que muchas de las regiones semiáridas en los trópicos y subtrópicos se tornan propensas a experimentar una mayor aridez, como consecuencia del cambio climático (Falkenmark 2013). Muchos de los efectos negativos del agotamiento de los recursos naturales tales como el estrés hídrico local y regional, los desequilibrios ecológicos, la desertificación, las tensiones sociales y la pérdida de biodiversidad ya son de dimensiones considerables, al tiempo que los esfuerzos por detener y revertir la problemática de la degradación ambiental continúan siendo más bien ineficaces. Ello en gran medida debido a la incapacidad generalizada para equilibrar ecológicamente los usos consuntivos de las aguas subterráneas y superficiales (Duda & El-Ashry 2000; Brown 2005; Barrios *et al.* 2009); situación que ha sido matizada por la excesiva politización del tema; obstaculizando avances en materia de gobernanza ambiental; exacerbando los efectos nocivos que provocan dichos factores de estrés (Gleick 1993; Brauch 2006). Esta problemática se ejemplifica en México, país donde la creciente demanda de agua pone en riesgo el desarrollo social y económico de aproximadamente el 65% de su territorio y más del 46% de su población (Barrios *et al.* 2009; SEMARNAT 2008), especialmente en el norte árido (Cohen 2005; CONAGUA 2007).

La abundancia y diversidad ecológica y biótica de los sistemas dulceacuícolas del Desierto Chihuahuense son inusualmente elevados para una región desértica (De la Maza-Benignos *et al.* 2014). El alto número de organismos endémicos acuáticos ha sido reconocido internacionalmente por su importancia global (Olson y Dinerstein 1998, Dinerstein *et al.* 2001). El Desierto Chihuahuense es la ecoregión desértica más grande de México, el ecosistema de desierto más grande de Norte América, y uno de los desiertos más biodiversos del planeta (De la Maza-Benignos *et al.* 2009). No obstante, la sobre concesión y sobre explotación del agua en el Desierto Chihuahuenses ya desencadenaron una grave crisis ecológica (Williams *et al.* 1985; Edwards *et al.* 2002) que revela una pérdida irremediable de importantes elementos de su fauna endémica; siendo el caso mejor documentado el de la extinción de los peces cachorritos de los Valles de Sandia (*Cyprinodon longidorsalis*, *C. veronicae*, *C. inmemoriam* y *C. cecilia*) y del Potosí (*C. alvarezi* y *Megupsilon aporus*) que se extinguieron al poco tiempo de su descubrimiento (Contreras-Balderas & Lozano-Vilano 1996).

Presentamos un estudio de caso acerca de la aplicación de un modelo novedoso para la conservación de la biodiversidad y el desarrollo sostenible de los humedales en zonas áridas. El proyecto se centra en el monitoreo de las condiciones ambientales de El Pandeño, un manantial desértico que se ubica en la cuenca de río Conchos, en el estado de Chihuahua, México. La especie focal para el desarrollo de este modelo es el pez microendémico cachorrito de Julimes (*Cyprinodon julimes*), por tratarse de un indicador biológico sensible a los cambios ecológicos en el ecosistema. Analizamos los retos iniciales, los procedimientos para la puesta en marcha del proyecto, los desafíos a futuro y el precedente jurídico para la conservación del agua en México que dicho proyecto estableció. También presentamos la información que dicha empresa ha generado acerca del manantial El Pandeño (su geomorfología, hidrología e historia antropogénica) y el pez cachorrito de Julimes (su biología básica, ecología y conservación genética). Finalmente, discutimos la manera en que este modelo podría impulsar los esfuerzos para la conservación de la biodiversidad en humedales y manantiales desérticos de la cuenca del río Conchos, del Desierto Chihuahuense, y de otras regiones áridas del mundo, al integrar el fortalecimiento de capacidades con la seguridad ambiental de las comunidades humanas, la gestión orientada a la biodiversidad, el desarrollo de políticas públicas coherentes, y la instrumentación de mejores prácticas para el aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos en las zonas áridas.

II. THE CHIHUAHUAN DESERT/ EL DESIERTO CHIHUAHUENSE

Although many desert aquatic species have been (and continue to be) lost or reduced in abundance as a result of locally-confined activities, such as small-scale draining of springs (Contreras-Balderas & Lozano-Vilano 1996) or introduction of non-native species (De la Maza-Benignos *et al.* 2009), there is substantial and growing concern over the landscape-scale effects of water resource exploitation of major river and aquifer systems. These landscape-scale stressors have the potential to diminish biodiversity rapidly and over an expansive geographic range. Although local threats may be more difficult to predict, the solutions to reduce the effects of landscape-scale threats are more complex. Consequently, the solutions to more regional effects are less easily identified and more difficult to implement. In addition, while desert aquatic-species remain a primary focus of biodiversity loss in the Chihuahuan Desert (Edwards *et al.* 2002; De la Maza-Benignos *et al.* 2009), degradation and loss of aquatic habitats also threatens non-aquatic desert species (Ceballos *et al.* 2010), and many species not generally considered to be desert inhabitants, such as the great variety of migratory birds that depend on desert wetlands for forage and refuge habitat in winter (Mitsch & Hernandez 2013).

The Rio Conchos Basin. The challenge of reducing landscape-scale threats to biodiversity is exemplified in the Rio Conchos basin (Figure 1). The Rio Conchos is the most biologically and economically important major tributary system in the Northern Chihuahuan Desert of Mexico. It accounts for approximately 30% of the total catchment area and is the largest tributary by water volume of the Rio Grande-Rio Bravo del Norte basin (Kim & Valdés 2002), as it provides approximately one-third of the total annual volume to the Río Bravo (=Rio Grande) proper (Barrios *et al.* 2009, De la Maza-Benignos *et al.* 2009), over 90% of the water of the Rio Conchos is allocated to irrigation of crops, primarily in the 005 Delicias, 090 Bajo Río Conchos, and 103 Río Florido of the highly degraded Middle Rio Conchos sub-basin (Figure 1), with surface water irrigation fed mostly by water stored in La Boquilla, Francisco I. Madero, and Luis L. León reservoirs. In addition, groundwater extracted within the basin is used extensively for irrigation of crops (Kim & Valdés 2002).

Fishes are among the more imperiled organisms of the Rio Conchos basin. This diverse desert fish fauna is represented by 28 native and 10 endemic species, with half of the endemic forms restricted either to a single spring or spring system (De la Maza-Benignos *et al.* 2009). Also present in the Rio Conchos are at least 11 non-native fish species, some of which have been implicated in decline of native and endemic taxa (Contreras-Balderas 2000; De la Maza-Benignos *et al.* 2009). Of the major groups of native and endemic species, the killifishes (cyprinodontids) are among the more vulnerable to extinction because the majority of these species in this group have a narrow or microendemic geographic distribution. Pupfishes and mosquitofishes of the Rio Conchos, for example, each represent approximately 10% of described species in their respective genera. Among the endemic species, four pupfish species and three species of mosquitofish occur in the basin, including the recently described Julimes pupfish *Cyprinodon julimes* (De la Maza-Benignos & Vela-Valladares 2009) and the mosquitofish *Gambusia zarskei* (Meyer *et al.* 2010); several documented forms (primarily *Gambusia*) await formal description. Despite this diversity, the great majority of killifishes endemic to the Rio Conchos basin occur in one of the following desert spring systems: San Gregorio, Ojo de Dolores, San Diego de Alcalá, Santa Isabel, and El Pandeño at Julimes (De la Maza-Benignos *et al.* 2009).

A pesar de que muchas de las especies acuáticas del Desierto Chihuahuense están (y se continúan) extinguiendo, o su abundancia se ha visto reducida debido a la proliferación de prácticas perjudiciales en sitios específicos, como son la descarga de aguas negras en los cuerpos de agua (Contreras-Balderas & Lozano-Vilano 1996) o la introducción de especies exóticas (De la Maza-Benignos *et al.* 2009); existe una creciente y considerable preocupación acerca de los efectos a escala de paisaje que la sobreexplotación de los principales ríos y acuíferos están teniendo, pues el potencial de dicho factor para impactar de forma acelerada a la biodiversidad dentro de intervalos geográficos amplísimos, a nivel de paisaje, es enorme. No obstante que los efectos negativos que producen los estresores a nivel local son difíciles de predecir, la identificación y prescripción de grandes soluciones a escala de paisaje se torna una tarea sumamente compleja y de difícil desarrollo en una escala regional. Además, aun y cuando las especies dulceacuícolas del desierto siguen siendo foco primario de pérdida de biodiversidad en el Desierto Chihuahuense (Edwards *et al.* 2002; De Maza-Benignos *et al.* 2009), la degradación y pérdida de hábitats acuáticos también amenaza a las especies terrestres (Ceballos *et al.* 2010), así como a muchos otros grupos generalmente no considerados del desierto, incluyendo gran variedad de aves que dependen de los humedales para el forrajeo, migración invernal y biología en general (Mitsch & Hernandez 2013).

La cuenca del Río Conchos. El gran desafío que representa disminuir las amenazas para la biodiversidad a una escala de paisaje se ejemplifica en la cuenca del río Conchos (Figura 1). El río Conchos es el sistema tributario biológica y económicamente más importante del Desierto Chihuahuense en el norte de México. Se trata de la subcuenca hidrológica más importante por volumen de agua que forma parte de la cuenca del río Bravo (=Rio Grande). Cubre aproximadamente el 30% del área total de captación (Kim & Valdés 2002) y aporta aproximadamente un tercio del volumen total anual que escurre por el río Bravo (Barrios *et al.* 2009, De la Maza-Benignos *et al.* 2009). Más del 90% del agua del río Conchos se asigna al riego de cultivos, principalmente en los distritos de riego 005 Delicias, 103 Río Florido y 090 Bajo Río Conchos, los primeros dos ubicados en la ya muy degradada subcuenca media del río Conchos (Figura 1). Estos distritos son irrigados con el agua almacenada en los embalses de La Boquilla, Francisco I. Madero y Luis L. León. Además, en la cuenca también se emplea extensivamente el agua subterránea para el riego de cultivos (Kim & Valdés 2002).

En la actualidad, los peces se encuentran entre los organismos en mayor peligro de desaparecer de la cuenca del río Conchos. La ictiofauna del Conchos está representada por 28 especies nativas y 10 endémicas, estando la mitad de las formas endémicas restringidas a un solo manantial o sistema de manantiales (De la Maza-Benignos *et al.* 2009). En el río Conchos también están presentes al menos 11 especies no-nativas, algunas de las cuales han provocado la disminución de las especies nativas y endémicas (Contreras-Balderas 2000; De Maza-Benignos *et al.* 2009). Uno de los grupos principales de especies nativas y endémicas en el río Conchos son los killis (Ciprinodóntidos) que se ubican entre los más vulnerables a la extinción, debido a que la mayoría de las especies de este grupo cuentan con una distribución geográfica sumamente reducida. Los peces cachorritos y guayacones del río Conchos representan aproximadamente el 10% de las especies descritas en sus respectivos géneros. Entre las especies endémicas del río Conchos existen cuatro de cachorrito y tres de guayacón, incluyendo los recientemente descritos cachorrito de Julimes *Cyprinodon julimes* (De la Maza-Benignos & Vela-Valladares 2009) y guayacón de San Diego de Alcalá *Gambusia zarskei* (Meyer *et al.* 2010). Además, se tienen documentadas varias formas (principalmente de *Gambusia*) que aguardan una formal descripción. La mayor parte de los killis endémicos de la cuenca del río Conchos habitan en alguno de los siguientes manantiales: Ojo de San Gregorio, Ojo de Dolores, San Diego de Alcalá, Santa Isabel y El Pandeño en Julimes (De la Maza-Benignos *et al.* 2009).

EL PANDEÑO: A MODEL FOR DESERT SPRING CONSERVATION THROUGH SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Background on El Pandeño Spring. The thermal spring complex of Julimes, Chihuahua, is a model system for biodiversity conservation and sustainable development in arid regions (De la Maza-Benignos *et al.* 2012). These springs are located in the Middle Rio Conchos, 1.6 km southwest of the town of Julimes, Chihuahua, and within the non-pumping zone of the Delicias-Meoqui aquifer. The most biologically important spring in the system, El Pandeño, is a small (740 m²) and shallow (<1 m) system that harbors the only known population of the critically endangered (P) Julimes pupfish *Cyprinodon julimes* (SEMARNAT-2010). Also present in the system are the IUCN (CR) red listed sphaeromatid isopod *Thermosphaeroma macrura* (Bowman 1985) and its (non-listed) congener *T. subequalum* (Cole & Bane 1978; Schotte 2000), two endemic springsnails (*Tryonia julimesensis* Hershler *et al.* 2011 and *T. minckleyi* Hershler *et al.* 2014), an undescribed but presumably endemic mosquitofish (*Gambusia sp.*), and the endemic plant *Eleocharis aresenifera* (González-Elizondo 2005). El Pandeño also is the primary source spring for agricultural activities of farming community (~5,000 inhabitants) of Julimes, Chihuahua. The small but biologically diverse El Pandeño Spring thus presents an exceptional opportunity to test workable solutions to biodiversity conservation through community partnerships toward sustainable development of water resources in arid lands.

The primary challenge to conservation of water resources in El Pandeño and other desert spring ecosystems of the region is to ensure sufficient water to maintain a viable ecosystem for the native and endemic species while also providing a guarantee of sufficient water for agricultural needs of the community. For El Pandeño Spring, the San José de Pandos Irrigation Society owns the legal rights to use of its waters, and, since 1998, all surface water discharged from this spring has been allocated to the 36 farmers in the San José de Pandos Irrigation Society for agricultural and recreational activities. In recent years, members of this society have grown concerned about unsustainable use on water resources in the region and the implications these activities have for the long-term security of water resources of the San José de Pandos community. This concern led to recent partnership between these local farmers and the NGO Pronatura Noreste, A. C., to develop and implement a voluntary Integrated Management Program (De la Maza-Benignos *et al.* 2012) based on the optimal allocation of spring flows for sustainable development of water resources for agricultural and recreational activities. This management program explicitly recognizes the natural environment as a user of this resource and also incorporates adaptive management strategies, capacity building, environmental education, public outreach, and interventions in water policy to ensure long-term security of the water resource.

Between 2007 and 2013, the program advanced from the planning process to a well-developed model for biodiversity conservation and sustainable development in the Chihuahuan Desert of Mexico. These efforts recently were showcased in the book "The Natural Heritage of Mexico: One Hundred Success Stories" (De la Maza-Benignos *et al.* 2010a), which was published by the National Commission for Biodiversity (Carabias *et al.* 2010). The success of this partnership was recognized internationally on World Wetlands Day (2 February 2014) when the site was declared as a Wetland of International Importance under the RAMSAR Convention (Presidencia de la República 2014).

EL PANDEÑO: UN MODELO PARA LA CONSERVACIÓN DE MANANTIALES DESÉRTICOS A TRAVÉS DEL DESARROLLO SOSTENIBLE

Antecedentes de El Pandeño. Los Manantiales Geotermiales de Julimes, Chihuahua, representan un modelo de conservación de la biodiversidad y desarrollo sostenible para las regiones áridas (De la Maza-Benignos *et al.* 2012). Dichos manantiales se ubican en la cuenca media del río Conchos, 1.6 km al suroeste de la ciudad de Julimes, Chihuahua, dentro de la zona de veda del acuífero Delicias-Meoqui. El manantial de El Pandeño representa el cuerpo de agua biológicamente más importante del sistema. Se trata de un manantial pequeño (740 m²) y superficial (< 1 m) que alberga a la única población conocida del pez cachorrito de Julimes (*Cyprinodon julimes*), considerado en peligro de extinción (P) (SEMARNAT-2010). En El Pandeño también están presentes el isópodo sphaeromatido *Thermosphaeroma macrura* (Bowman 1985), considerado en peligro crítico de extinción (CR) conforme a la lista roja de UICN, y su congénere (no enlistado) *T. subequalum* (Cole y Bane 1978; Schotte 2000), dos caracoles endémicos (*Tryonia julimesensis* Hershler *et al.* 2011 y *T. minckleyi* Hershler *et al.* 2014), una especie no descrita, pero presumiblemente endémica de guayacán (*Gambusia sp.*), y la planta endémica *Eleocharis aresenifera* (González-Elizondo 2005). El Pandeño también es fuente principal de agua para la agricultura que desarrolla la comunidad de Julimes (~ 5.000 habitantes). Este pequeño, pero biodiverso manantial conjuntamente con la comunidad presenta una oportunidad excepcional para probar soluciones viables para la conservación de la biodiversidad y el desarrollo sostenible de los recursos hídricos en zonas áridas.

El reto principal para la conservación de los recursos hídricos en El Pandeño, así como de otros manantiales de zonas áridas consiste en asegurar suficiente agua para mantener un ecosistema viable para las especies nativas y endémicas, y a la vez garantizar agua suficiente para las necesidades agrícolas de la comunidad. Desde 1998 la Sociedad Agrícola de San José de Pandos es titular de derechos para el uso de las aguas superficiales que manan de El Pandeño. Dicha sociedad inicialmente conformada por 36 agricultores fue dotada de un título de concesión para el desarrollo de actividades agrícolas y recreativas. En los últimos años, los miembros de la asociación comenzaron a alarmarse por el uso insostenible que se estaba haciendo de los recursos hídricos en la región, y por las implicaciones para la comunidad que esto tendrá en el largo plazo en materia de seguridad hídrica. Esta preocupación condujo a una alianza entre los agricultores locales y la organización no gubernamental (ONG) Pronatura Noreste, A. C., con el propósito de buscar desarrollar e implementar un programa integrado voluntario de gestión (De la Maza-Benignos *et al.* 2012) basado en la asignación óptima de los flujos que manan del manantial para el aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos en actividades económicas, agrícolas y recreativas. Dicho programa reconoce expresamente al entorno natural como usuario del agua, e incorpora estrategias de manejo adaptativo, de creación de capacidades, de educación ambiental, y de divulgación, así como intervenciones en política del agua, buscando garantizar la seguridad a largo plazo del recurso hídrico.

Entre 2007 y 2013, el programa avanzó del proceso de planificación, a convertirse en un modelo integral para la conservación de la biodiversidad y el desarrollo sustentable en el Desierto Chihuahuense en México. Dichos esfuerzos fueron recientemente descritos en el libro Patrimonio Natural de México: Cien Casos de Éxito (De la Maza-Benignos *et al.* 2010a), publicado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Carabias *et al.* 2010). También, el éxito de esta iniciativa fue reconocido internacionalmente durante el día mundial de los humedales (2 de febrero de 2014) cuando el sitio fue declarado como Humedal de Importancia Internacional bajo la Convención de RAMSAR (Presidencia de la República 2014).

DEVELOPMENT OF EL PANDEÑO AS A MODEL

Recognizing the environment as a user of water resources. The sustainable development model of El Pandeño is novel because it is based on explicit recognition of the natural environment as a rightful user of water resources and because its implementation departed from convention by taking place in an arid region. Consequently, this model has raised several legal, scientific, administrative, engineering, and ideological challenges (Barrios *et al.* 2009). Effective implementation of the model for El Pandeño required: (a) a science-based analysis that determined the quantity and quality of water needed to ensure biological integrity of the system, including determination of the amount of water needed to maintain adequate habitat connectivity and ecosystem function seasonally and annually; (b) a legal analysis of procedures to establish a conservation federal land use right, and a water right when a non-consumptive water title is awarded to the environment as a user; (c) management and operation of hydraulic infrastructure under regulations and rules that ensure sufficient natural spring-flows are maintained for the environment; and (d) educational efforts to correct long-standing but erroneous and detrimental viewpoints regarding what constitutes efficient use of water resources; for example, there is a need to educate local farmers that flowing water is not “wasted water” but instead is essential to a healthy aquatic ecosystem and thus long-term sustainability of the resource. The novelty of this paradigm is in its implementation rather than its articulation because this basic approach to water management was recognized in the Mexican National Water Law of 1992 but has yet to be implemented under the mandate by the federal government.

Our independent implementation of this conservation model began in 2007 when we engaged local farmers, municipal authorities of Julimes, and state and federal agencies in a dialogue to build support by promoting community ownership as the core component in development of an innovative, biodiversity-focused model for conservation and sustainable development of desert-springs. The goal of this initiative was to overcome three obstacles to conservation of aquatic biodiversity in the region: (1) the absence of comprehensive baseline biological information and inventories; (2) the insufficient knowledge stakeholders possess about biodiversity and environmental services, which has led to poor management provisions for these biological resources; and (3) the lack of adequate planning, integration, and funding which has prevented adequate characterization of the hydrologic cycle of exploited desert spring systems, and hampered efforts to convey the environmental, scientific, and cultural value and benefits of biodiversity. Throughout the first year, the project focused on identifying stakeholders and initiating an outreach program based on a series of workshops that 1) assessed the views and attitudes of farmers and authorities towards the water resource and 2) evaluated the willingness of these stakeholders to participate in legally binding conservation arrangements that integrate agricultural and recreational activities with allocation of sufficient water resources to an additional user, the environment.

These efforts culminated in a program that achieved effective public participation by integrating the needs of the community, stakeholders, governments, and civil society within a conservation model focused on testing workable solutions to achieve water-resource sustainability in the region; for elaboration of this approach, see Jonch-Clausen & Fugle (2001), Gunton *et al.* (2003), Irvin & Stansbury (2004), and Gibson (2006). In 2008 the first agreements between NGOs, municipal government authorities, and members of the San José de Pandos Irrigation Society approved a preliminary plan for the establishment of a private natural protected area. This plan acknowledged the cultural services of El Pandeño Spring, the services that its habitats provide to the local economy, and the imminent risks that mismanagement and abuse of the

DESARROLLO DE EL PANDEÑO COMO UN MODELO

Reconocer al medio ambiente como usuario de recursos hídricos. El modelo de desarrollo sostenible de El Pandeño es novedoso porque se basa en el reconocimiento explícito del entorno natural como usuario legítimo de los recursos hídricos; y su implementación en una región semiárida es poco convencional. En consecuencia, su implementación planteó varios desafíos legales, científicos, administrativos, de ingeniería e ideológicos (Barrios *et al.* 2009). Su desarrollo efectivo requirió de: (a) análisis científicos para determinar la cantidad y calidad del agua necesaria para garantizar la integridad biológica del sistema, incluyendo la determinación de los volúmenes de agua necesarios para mantener anual y estacionalmente la funcionalidad y conectividad del hábitat; (b) análisis jurídicos de los procedimientos para solicitar concesiones de la ribera federal con fines de conservación, así como solicitar concesiones de agua para uso ecológico; (c) la administración y operación de infraestructura hidráulica bajo normas y reglas de operación que garanticen el flujo suficiente para el manantial y el medio ambiente; y (d) esfuerzos educativos para modificar percepciones arcaicas acerca de lo que significa el uso eficiente del agua. Por ejemplo, concientizar a los agricultores de que el agua que fluye no es “agua desperdiciada”, sino un componente esencial del ciclo hidrológico, así como un elemento necesario para mantener un ecosistema acuático sano, prestador de servicios ambientales, garante de sostenibilidad de los recursos naturales a largo plazo. Más que en su articulación, lo novedoso de este paradigma radica en su aplicación, pues su enfoque básico de manejo del agua se encuentra desde 1992 preceptuado en la Ley de Aguas Nacionales, a pesar de que a la fecha aún no ha sido implementado por el gobierno federal.

La aplicación independiente del modelo de conservación comenzó en el 2007. Agricultores locales, autoridades municipales de Julimes, ONG, y algunas dependencias estatales y federales de gobierno, entre otros actores se comprometieron al diálogo con el propósito de obtener apoyo, y fomentar la “apropiación comunitaria” como componente central en el desarrollo de un modelo innovador para la conservación y aprovechamiento sustentable de los manantiales del desierto que se centra en la biodiversidad. La iniciativa se orientó hacia superar tres obstáculos para la conservación de la biodiversidad acuática de la región: (1) la ausencia de información de base amplia e inventarios biológicos; (2) el desconocimiento por parte de los actores acerca de la biodiversidad y los servicios ambientales, lo que en el pasado conllevó a disposiciones administrativas deficientes en materia de gestión de los recursos biológicos; y (3) la falta de una planificación adecuada, integración y financiamiento que impedía la adecuada caracterización del ciclo hidrológico en los sistemas de manantiales desérticos explotados, y obstaculizaba los esfuerzos para demostrar los valores ambiental, científico y cultural, así como dar a conocer los beneficios de la biodiversidad. Durante el primer año, el proyecto se centró en la identificación de las partes interesadas e iniciar un programa basado en una serie de talleres que 1) evaluaron las opiniones y actitudes de los agricultores y las autoridades hacia el recurso hídrico y 2) evaluaron el grado de voluntad de las partes interesadas por participar en acuerdos de conservación jurídicamente vinculantes que integran las actividades agropecuarias y recreativas con la asignación de volúmenes suficientes para un usuario adicional, el medio ambiente.

Estos esfuerzos culminaron en un programa que alcanzó una participación pública efectiva gracias a la integración de las necesidades de la comunidad, de los interesados, de los gobiernos y de la sociedad civil dentro de un modelo de conservación enfocado a la búsqueda de soluciones viables para el aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos en la región. Para la elaboración de este enfoque, ver Jonch-Clausen & Fugle (2001), Gunton *et al.* (2003), Irvin & Stansbury (2004) y Gibson (2006). En 2008 los primeros acuerdos entre las organizaciones no gubernamentales, autoridades municipales y miembros de la Sociedad Agrícola de San José de Pandos incluyeron la aprobación de un plan preliminar para el establecimiento de un área natural protegida privada. En el plan se reconocen los servicios culturales que ofrece El Pandeño, así como los servicios hidroló-

system present to community sustainability. Also, the lynchpin of the program was development of a plan for monitoring the endemic Julimes pupfish as a valuable bio-indicator of sustainable development of water resources (i.e., an indicator of change in vital ecosystem functions). Additional agreements resulted in the chartering of the NGO Amigos del Pandeño, A.C., which was founded by the farmers of the San José de Pandos Irrigation Society. This NGO recognizes explicitly that stewardship of El Pandeño Spring is focused on sustainable development of the water resource. In turn, Pronatura Noreste is committed to community outreach and educational activities, especially for local children. The participation of Pronatura Noreste also includes efforts to 1) build community pride through recognition of their ownership of the spring and its biodiversity; 2) foster stakeholder involvement; and 3) assist in improvement of irrigation potential and practices that will allow agricultural, recreational and environmental water uses to be integrated successfully.

Legal and administrative framework. According to the Mexican National Water Law (LAN) of 1992, authority and management of national waters and inherent public assets is the mandate of the Federal Executive, who will exercise its authority directly or through the Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Therefore, federal riparian land concessions, water concessions, and water rights transactions fall under the rule of the LAN, which defines environmental use (Article 3, fraction LIV) as “the flow or minimum volume necessary for water bodies, including diverse forms of currents or reservoirs, or the minimum natural discharge flow of an aquifer that must be conserved to protect environmental conditions and ecologic equilibrium of the system.” Technical studies demonstrated that water from El Pandeño Spring is part of the hydrologic system of the Rio Conchos. This relationship places the water of the spring under federal jurisdiction in accordance with Article 27 of the Mexican Constitution that states that “the lands and waters within the boundaries of the national territory are in origin the property of the Nation. The Nation has had, and has the right to transfer ownership to legal persons, enabling private property... The Nation owns the waters of the territorial seas... the waters of all the natural inland lakes that are directly linked to constant flows; of all the rivers and their tributaries ... of all the permanent and intermittent currents and their direct and indirect tributaries... all the springs located on national seashores, maritime areas, river beds, lake beds, lake shores, lagoons or estuaries... Any water flows or water deposits not mentioned above are considered associated to the property and owned by the landowner; but if the waters naturally cross through two or more estates, then its use is considered of public interest and subject to the provisions enacted by the States.”

Our studies also justified the importance of preserving this ecosystem, and hence the relevance of devoting the area to conservation purposes. In May 2009, Amigos del Pandeño requested CONAGUA to grant (1) custody of the spring area for conservation purposes and (2) non-consumptive environmental water rights to be awarded to the spring for the preservation of its endemic fauna. The legal basis of these requests was that discharge from the spring provides a range of environmental services and social benefits. On 28 September 2010, CONAGUA issued a two-part response to this request (CONAGUA 2010). For environmental purposes and under a ten-year term, Amigos del Pandeño was granted custody, use, and management of the federal lands of the thermal spring (12,731.36 m² area) of San Jose de Pandos (i.e. El Pandeño). But in the same communiqué, CONAGUA denied the request to recognize the natural environment as a user of the surface waters of El Pandeño Spring.

Right to use of land but denial of water title has two important implications. First, this decision is contradictory because protection of aquatic habitats may exclude protection of the waters themselves. This problematic national policy, for example, contributed substantially to the recent ecological collapse of desert springs systems in the Natural Protected Area of Cuatro Ciénegas,

gicos que los hábitat proporcionan a la economía local, y los riesgos inminentes que el abuso y mal manejo del sistema representan para la comunidad. La piedra angular del programa fue el desarrollo de un plan de seguimiento de la especie endémica de pez cachorrito de Julimes (*Cyprodon Julimes*) que fue reconocido como valioso indicador biológico del nivel de sustentabilidad en el uso del agua (es decir, un indicador de cambio en las funciones vitales del ecosistema). Una serie de acuerdos adicionales resultaron en la conformación de la organización no gubernamental Amigos del Pandeño, A.C., que fue fundada por los agricultores miembros de la Sociedad Agrícola de San José de Pandos. Esta ONG reconoce expresamente que la buena gestión de El Pandeño se centra en el desarrollo sostenible del recurso hídrico. Por su parte, Pronatura Noreste está comprometida con el desarrollo de acciones locales de extensión y educación ambiental, especialmente para los niños. La participación de Pronatura Noreste incluye esfuerzos para 1) animar el orgullo comunitario impulsando la apropiación y reconocimiento del manantial y su biodiversidad; 2) fomentar la participación de los interesados; y 3) ayudar a mejorar el potencial agrícola, así como promover prácticas integradoras del riego y el uso recreativo con el uso ecológico del agua.

Marco jurídico y administrativo. La Ley de Aguas Nacionales (LAN) de 1992 preceptúa que: «la autoridad y administración en materia de aguas nacionales y de sus bienes públicos inherentes corresponde al Ejecutivo Federal, quien la ejercerá directamente o a través de la Comisión Nacional del Agua» (CONAGUA). Por lo tanto, las concesiones de ribera, concesiones de agua y diligencias de derechos de agua se encuentran reguladas por la LAN. Esta define el uso ambiental (artículo 3, fracción LIV) como: «el caudal o volumen mínimo necesario en cuerpos receptores, incluyendo corrientes de diversa índole o embalses, o el caudal mínimo de descarga natural de un acuífero, que debe conservarse para proteger las condiciones ambientales y el equilibrio ecológico del sistema». Estudios técnicos demostraron que el manantial El Pandeño es parte del sistema hidrológico del río Conchos. Esta relación coloca las aguas del manantial bajo jurisdicción federal de conformidad con el artículo 27 de la Constitución mexicana que establece que: «...la propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originalmente a la Nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada [...] Son propiedad de la Nación las aguas de los mares territoriales [...] las de los lagos interiores de formación natural que estén ligados directamente a corrientes constantes; las de los ríos y sus afluentes [...] las de las corrientes constantes o intermitentes y sus afluentes directos o indirectos [...] las de los manantiales que broten en las playas, zonas marítimas, cauces, vasos o riberas de los lagos, lagunas o esteros [...] Cualesquiera otras aguas no incluidas en la enumeración anterior, se considerarán como parte integrante de la propiedad de los terrenos por los que corran o en los que se encuentren sus depósitos, pero si se localizaren en dos o más predios, el aprovechamiento de estas aguas se considerará de utilidad pública, y quedará sujeto a las disposiciones que dicten los Estados».

Los estudios también justificaron la importancia de la conservación del ecosistema, así como la importancia de destinar su ribera o zona federal a fines de conservación. En mayo de 2009, los Amigos del Pandeño solicitaron a la CONAGUA la concesión de (1) la ribera asociada al manantial con fines de conservación y (2) un volumen de agua para uso no consuntivo, ecológico con fines de preservación de la fauna endémica del manantial. La fundamentación jurídica de esta solicitud se basó en que el agua que mana del manantial proporciona una gama de servicios ambientales y beneficios sociales que son del interés público. El 28 de septiembre de 2010, la CONAGUA emitió una respuesta dividida en dos partes. En una la CONAGUA otorgó a los Amigos del Pandeño por un plazo de 10 años concesión para aprovechar, usar o explotar el terreno federal asociado a la zona federal del manantial San José de Pandos —es decir, El Pandeño—, 12,731.36 m² para uso ambiental; mientras que en el mismo comunicado, la CONAGUA resolvió no otorgar la concesión de aguas superficiales (CONAGUA 2010), acto que virtualmente se opuso al uso para conservación ecológica y a la idea del medio ambiente como usuario de las aguas del Pandeño.

Coahuila, Mexico (Ramos 2013). Second, the legal precedent set in the communication for El Pandeño may have far reaching consequences in favor of water protection in the long-term because this reply provides in an official resolution the explicit legal basis to impede the granting of any new concessions and to proceed against illegal extractions. This is based on the argument of CONAGUA that 1) the surface waters concession is denied due to the existing ban over the Rio Bravo and its tributaries, which was published in the Federal Official Diary on December 15, 1955; 2) on August 28, 1931, the Federal Official Diary published the agreement to ban concessions of water from the Rio Conchos and its tributaries in the state of Chihuahua; and 3) the second point of consideration in the agreement, which reads “That for the stated reason, this Secretary decreed on October 3, 1927 a ban over water concessions when referring to the streams included in the aforementioned list, suspending as well the procedures for all those published prior to that date.”

By means of this resolution, CONAGUA documented the legal instruments to secure and protect the permanence of the waters of the Rio Bravo and its tributaries, including Julimes and the Rio Conchos, which in theory opens the possibility not only to challenge any new concession, but also to challenge those granted after the years mentioned in their official communication (CONAGUA resolution No. BOO.E.22.1/SU.- 4751, 28 September, 2010). Further legal analysis needs to be conducted on the existing bans over the Rio Bravo and its tributaries. These bans were published in the Federal Official Diary on 15 December 1955; 28 August 1931; and 3 October 1927. Therefore, the communiqué to Amigos del Pandeño provided the legal basis for establishing and enforcing an environmental flow requirement for the Rio Bravo, independent of whether established as a prior right (before other allocations) or as an allocation in competition with other users.

ECOLOGICAL CHARACTERIZATION OF EL PANDEÑO

A primary achievement of the Integrated Management Plan for El Pandeño is the wealth of information gained about the spring and its endemic and native inhabitants. This knowledgebase represents a superb example of how understanding of the abiotic, biotic, and human components of an imperiled desert spring ecosystem can be integrated into a management plan for sustainable development. Much of the understanding of the abiotic and biotic components of this system was obtained between 1 February 2008 and 31 December 2010 during a study conducted to evaluate the socio-economic underpinnings of the Julimes region and to characterize the hydrology, paleoecology, and biodiversity of El Pandeño Spring. As part of the biological description of this system, we also conducted a preliminary survey of the relationships between abiotic and biotic characteristics of El Pandeño Spring and the ethology, habitat preferences, and abundance and distribution of *C. julimes*.

Hydrology, ecology, and biodiversity of El Pandeño Spring. El Pandeño is a thermal, desert spring system that is fed by a deep aquifer that is recharged by infiltration of rainwater through a series of faults and fractures in the surrounding mountain ranges (Reyes 2009). Convective discharge of this deep aquifer supplies a steady source of hot water (>50°C) to the desert springs of the area, which outflow to the granular aquifer of the valley and mix with cooler, superficial waters. Analysis of the ratios of Deuterium (18O) and radioactive tritium (3H) in the primary inflow of the spring indicated that most of the water of El Pandeño entered the aquifer from rainfall in or prior to the early 1950s, though the superficial inflows are of much more recent origin (Chávez-Rodríguez 2008). Hydrogeochemical and local piezometric analyses also support a direct hydraulic connection between the thermal flow of El Pandeño and other ground-

El otorgamiento de derechos sobre el uso de terreno federal con fines ecológicos, pero la negativa de asignar un volumen de agua al ambiente tiene dos implicaciones importantes. En primer lugar, la decisión es contradictoria pues alienta la perspectiva de que la protección de los hábitats acuáticos puede excluir la protección de sus aguas. Dicha perspectiva fue la que condujo, en parte, al reciente colapso ecológico de los humedales dentro del Área Natural Protegida de Cuatro Ciénegas, Coahuila, México (Ramos 2013). A pesar de ello, el precedente jurídico que asienta el comunicado dirigido a los Amigos del Pandeño podría tener en el mediano y largo plazo consecuencias de gran alcance a favor de la protección del agua en la cuenca del río Bravo del Norte y sus tributarios, pues la resolución proporciona los fundamentos jurídicos para no otorgar nuevas concesiones en dicha cuenca, y se proceda en caso de extracciones ilegales, en base al siguiente argumento: 1) «...no se otorga la concesión de aguas superficiales en virtud de que existe veda del río Bravo del Norte y toda su cuenca tributaria publicada en el Diario Oficial de la Federación el 15 de diciembre de 1955». 2) «Esto, toda vez que en fecha 28 de agosto de 1931, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el acuerdo que establece veda sobre concesión de aguas del río Conchos y sus afluentes en el estado de Chihuahua y específicamente». 3) «...en el considerando SEGUNDO del acuerdo que dice—Que por el motivo indicado, esta Secretaría, tuvo a bien decretar el 3 de octubre de 1927 veda de concesiones de aguas referente a las corrientes incluidas en la lista mencionada, suspendiéndose además la tramitación de aquellas que en esa fecha hayan sido publicadas—».

Mediante esta resolución, la CONAGUA documenta los instrumentos jurídicos para asegurar y proteger las aguas del río Bravo y sus afluentes, incluyendo Julimes y el río Conchos; y en teoría abre la posibilidad no sólo de impugnar cualquier nueva concesión, sino también aquellas concedidas después de los años mencionados en el comunicación oficial (resolución CONAGUA no. BOO.E.22.1/su.-4751, 28 de septiembre de 2010). Son necesarios análisis jurídicos más profundos de las vedas vigentes en el río Bravo y sus afluentes que se publicaron en el Diario Oficial de la Federación el 15 de diciembre de 1955; 28 de agosto de 1931; y 03 de octubre de 1927. La resolución también proporciona las bases jurídicas para establecer y hacer cumplir un caudal mínimo ecológico para el río Bravo, independientemente de si se establece como reserva (*a priori*), o como título oponible ante terceros.

CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA DE EL PANDEÑO

Uno de los principales logros del Plan de Manejo Integral para El Pandeño ha sido la riqueza de información y datos que se han generado acerca del manantial y sus habitantes nativos y endémicos. Dicha información representa un magnífico ejemplo de cómo una sólida comprensión de los componentes abióticos, bióticos y humanos en un ecosistema en peligro pueden ser integrados en un plan de manejo para el desarrollo sostenible. Gran parte de dicha comprensión se logró entre el 01 de febrero de 2008 y el 31 de diciembre de 2010 mediante la realización de una serie de estudios para evaluar los aspectos socio-económicos de la región de Julimes, así como caracterizar la hidrología, paleo-ecología y biodiversidad de El Pandeño. Como parte de la descripción biológica del sistema, se realizó un estudio preliminar acerca de la relación existente entre las características bióticas y abióticas del manantial, así como de la etología, preferencias de hábitat, abundancia y distribución de *C. julimes*.

Hidrología, ecología y biodiversidad del manantial El Pandeño. El Pandeño forma parte de una red de manantiales geotermiales alimentados por un sistema de flujo subterráneo profundo cuya fuente de recarga es la captura de las aguas de escorrentía superficial provenientes de la lluvia, que se infiltran a través de fallas y fracturas ubicadas en las sierras circundantes (Reyes 2009). El sistema profundo descarga hacia el acuífero granular somero donde se mezcla con las aguas de origen no termal; mientras que su descarga convectiva proporciona a los manantiales una fuente termal constante (>50°C). Se analizaron los isótopos ambientales deuterio (18O) y tritio (3H) a partir del



Figure 2. Satellite image of Julimes (prior to restoration of former marsh in 2012); El Pandeño Spring is highlighted by white bars at lower right. The microbasin is located in the area that traces manmade canals, and the footprint of the desiccated wetland. The paleopresence of the wetland was confirmed using a digital elevation hydrologic model that revealed the ancient land depression and through a paleoecologic study that found microfossils of aquatic vegetation and typical wetland sediments.

Figura 2. Imágen de satélite de Julimes (previo a la restauración de la antigua ciénega en 2012); El Pandeño está resaltado en barras blancas en la parte inferior derecha. La microcuenca se encuentra en la zona con canales artificiales y la huella del humedal desecado. La paleo-presencia del humedal fue confirmada, usando un modelo hidrológico de elevación digital que reveló la antigua depresión, y a través de un estudio paleoecológico que detectó microfósiles de vegetación acuática y sedimentos típicos de humedal.

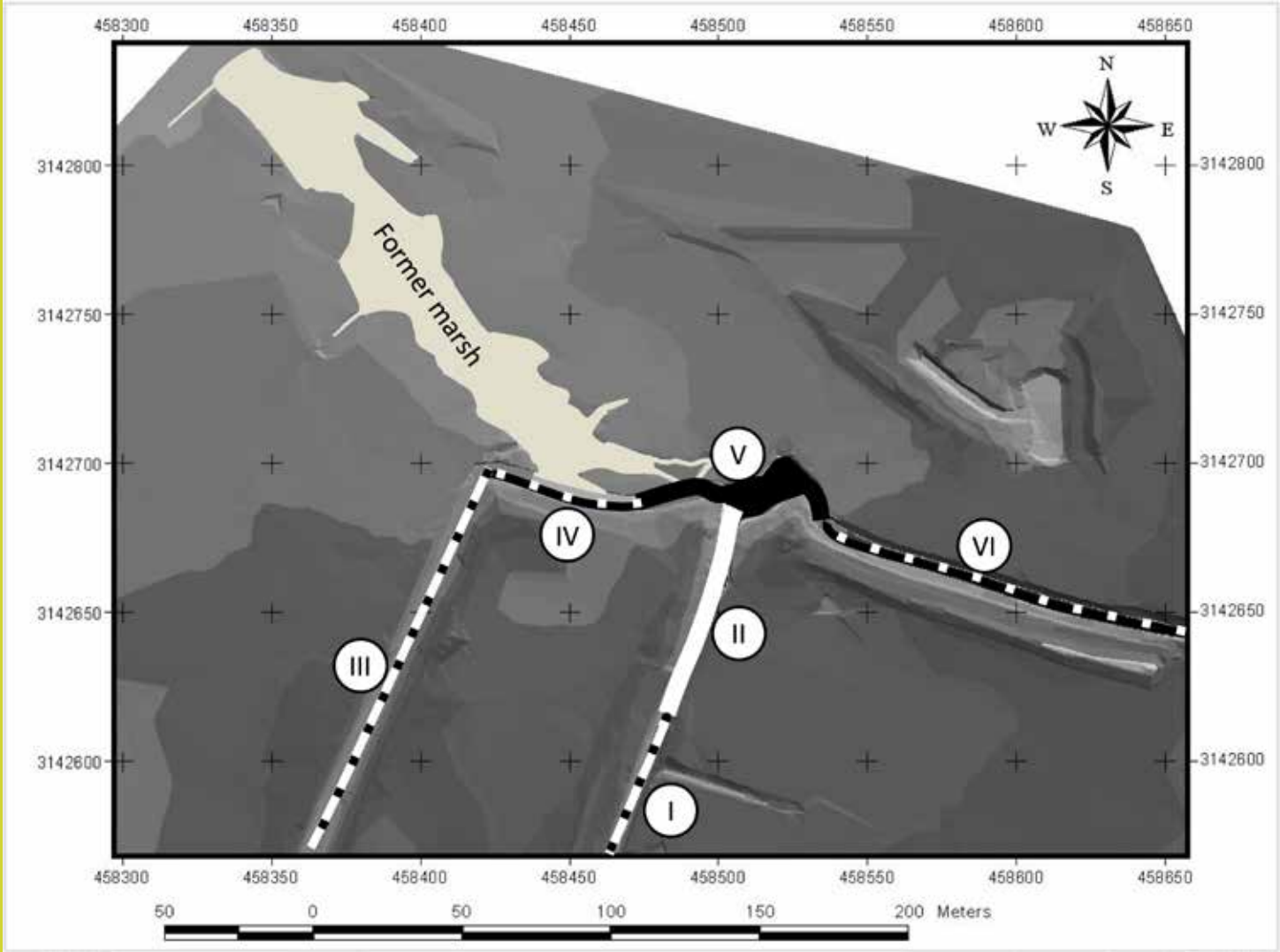


Figure 3. El Pandeño Spring. Zones I-VI. The former marsh system, drained in the 1950s, is indicated as it would appear if restored; inundation level based a digital simulation of closure of the draining canal and restoration of water flow into the system at Q = 70 liters per second.

Figura 3. Manantial El Pandeño. Zonas I a VI. Se observa como aparecería la antigua ciénega, drenada en la década de 1950, si fuese restaurada; el nivel de inundación se basa en una simulación digital del cierre del dren y la restauración del flujo de agua hacia el sistema Q = 70 litros por segundo.

Table 1. Dominant cyanobacteria and aquatic vegetation* in El Pandeño Spring. Zones are as in Figure 3 and are a modification of those designated in Table 7 of Montejano and Becerra (2009). Relative abundance assessments are from Montejano and Becerra (2009), with designations as follows: common (X), abundant (XX), and highly abundant (XXX).

Tabla 1. Cianobacterias dominantes y vegetación acuática* en El Pandeño. Las zonas corresponden a la figura 3 y fueron modificadas de las señaladas en la tabla 7 de Montejano y Becerra (2009). Las evaluaciones de abundancia relativa son de Montejano y Becerra (2009), con las designaciones de la siguiente manera: común (X), abundante (XX) y muy abundante (XXX).

Species	I	II	III	IV	V	VI
<i>Typha*</i>	XXX					
<i>Aphanothece</i> sp.		XXX		X		
<i>Aphanothece bullosa</i>		X		X		
<i>Borzia</i> sp.		X				X
<i>Chroococcus</i> cf. <i>thermalis</i>		XX				
<i>Chroococcus</i> sp. 1		XX				
<i>Chroococcus</i> sp. 2		XX				
<i>Cyanobium</i> sp.					X	
<i>Gloeocapsa</i> cf. <i>arenaria</i>						X
<i>Homeothrix</i> sp.			XXX			
<i>Hyella</i> sp.				X		
<i>Leptolyngbya</i> cf. <i>thermalis</i>		X	XX	X		
<i>Leptolyngbya</i> sp. 1				XXX	XXX	XXX
<i>Leptolyngbya</i> sp. 2				X		
<i>Mastigocladus laminosus</i>					X	X
<i>Oscillatoria princeps</i> var. <i>tenella</i>		X				
<i>Phormidium</i> sp. 1		X				
<i>Phormidium</i> sp. 2				X		
<i>Phormidium</i> sp. 3				X		
<i>Scytonema</i> sp.				X		
<i>Spirulina labyrinthiformis</i>		XX		X		
<i>Spirulina</i> cf. <i>tenerrima</i>				X		
<i>Synechocystis</i> sp.			X	X		X
Total Number of Species	1*	10	3	12	3	5

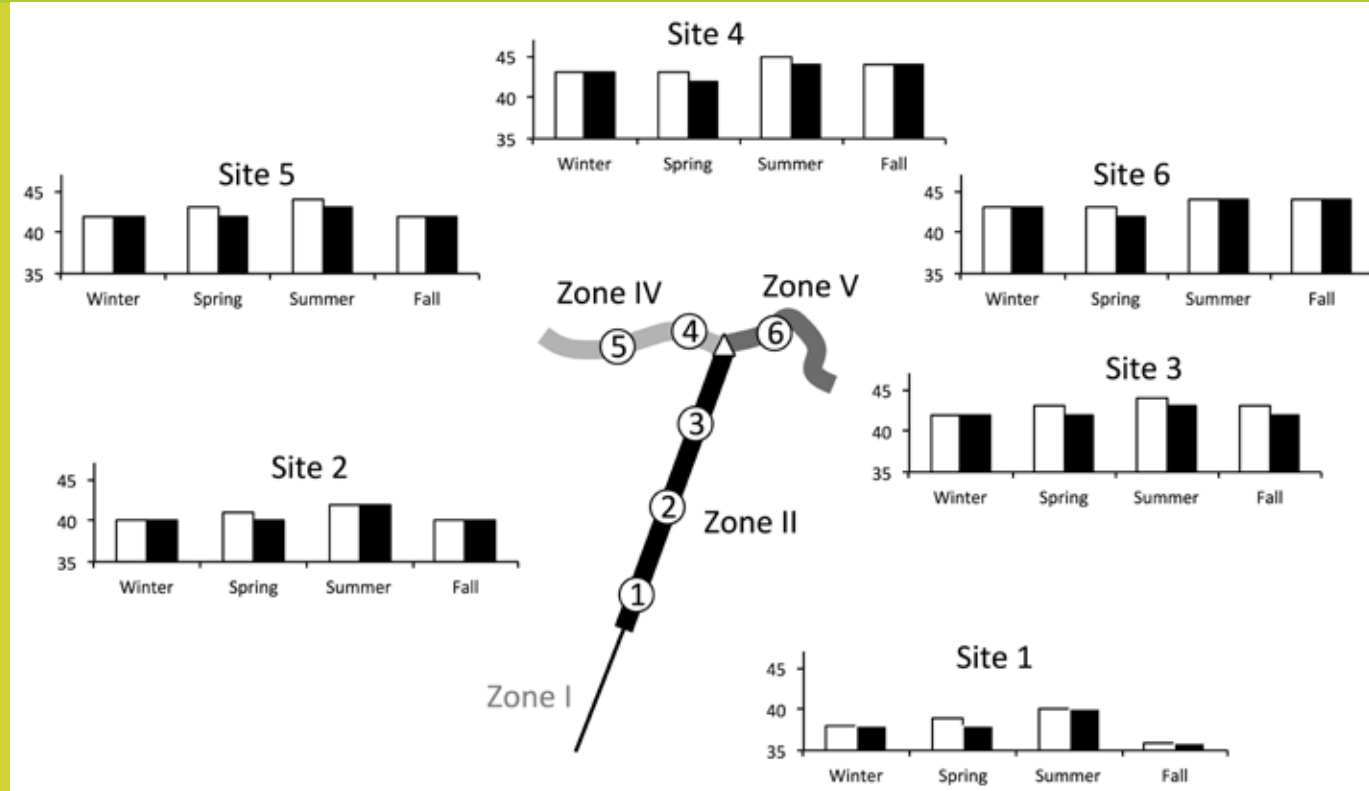


Figure 4. Distribution of temperature ($^{\circ}\text{C}$) in zones II-V, by site (1-6). For each histogram (by site), the observation season appears on the X-axis and the temperature ($^{\circ}\text{C}$) at day (white fill) and night (black fill) appears on the Y-axis..

Figura 4. Distribución de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en las zonas II-V, por sitio (1-6). Para cada histograma (por sitio), la estación de observación aparece en el eje de las X y la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) durante el día (en blanco) y durante la noche (en negro) aparecen en el eje de las Y.

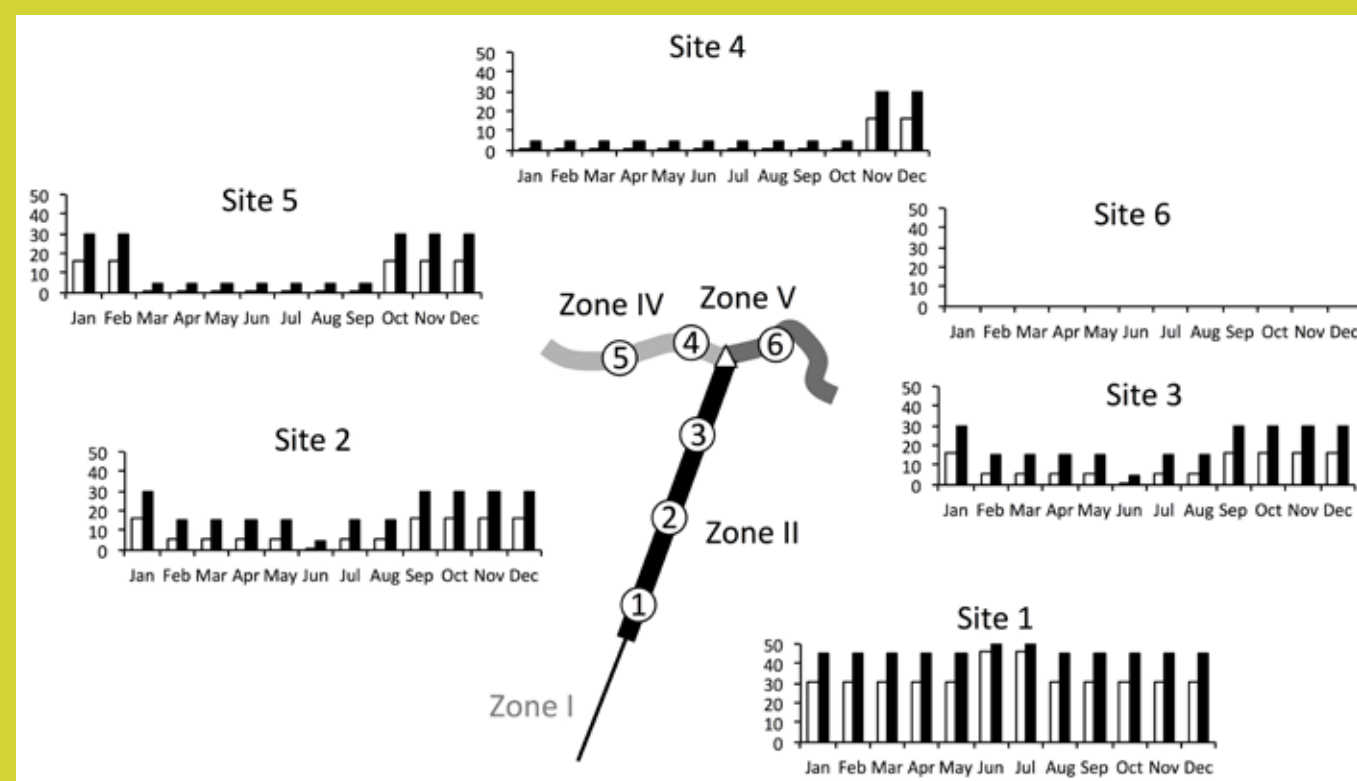


Figure 5. Monthly distribution and abundance of *Cyprinodon julimes* in Zones II, IV, and V. The six observation sites are designated by Arabic numerals. For each histogram (by site), the observation month appears on the X-axis and the count (number of individual pupfish) appears on the Y-axis.

Figura 5. Distribución mensual y abundancia de *Cyprinodon julimes* en zonas II, IV y V. Los sitios de observación se designan con números arábigos. Para cada histograma, el mes de observación aparece en el eje de las x y el conteo aparece en el eje de las y.

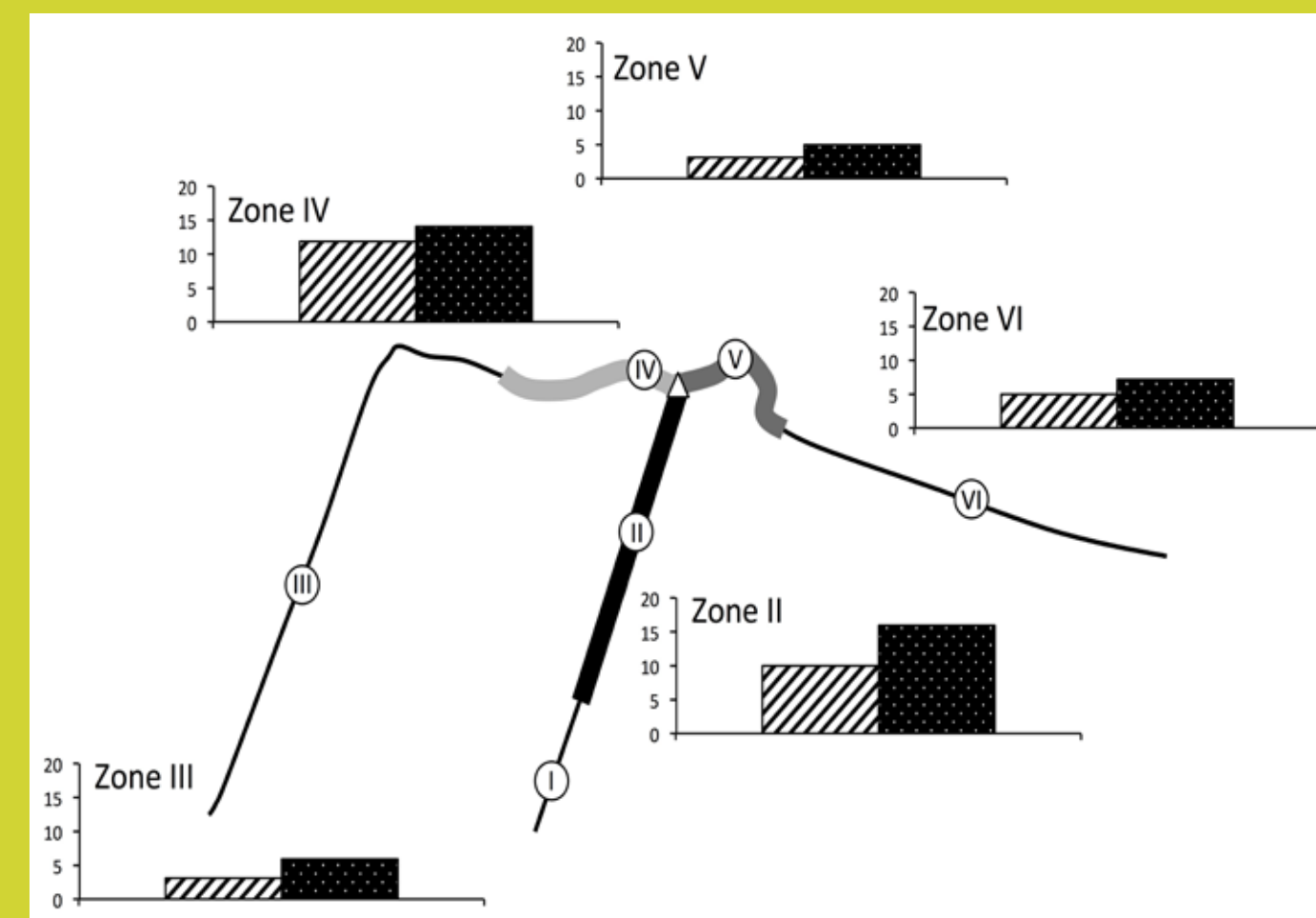


Figure 6. Cyanobacteria species abundance and distribution, as reported in Table 7 of Montejano and Becerra (2009); zone designations are re-ordered. The number of species (barred) and total abundance (dots) are on the x-axis and associated counts are on the y-axis.

Figura 6. Abundancia de especies de cianobacterias y su distribución, como se aprecia en la tabla 7 de Montejano y Becerra (2009); la designación de las zonas en este documento han sido reordenadas. El número de especies (barreado) y su abundancia total (punteado) se aprecian en el eje de las x; mientras que el eje de las y indica el conteo.

water sources in the immediate region (i.e. the underlying Meoqui-Delicias Aquifer). This last finding has management implications because water pumping at nearby the springs could have negative effects on the water discharge rate and the physicochemical properties of the aquatic ecosystem of El Pandeño.

Human activities over the past seven decades altered the hydrology of El Pandeño. For example, geomorphologic analysis of the area and its superficial hydrology showed that springs once were common in the midsections of the now intermittent creek associated with El Pandeño Spring. During construction of the paved road to the town of Julimes, the upper section of the creek was blocked and diverted across a shallow divide to a neighboring northern micro-basin, and the creek also was modified to divert water to the lower sections of the floodplain that was converted from wetland to agricultural fields (Figure 2). This construction included use of heavy machinery to create canalized galleries that drained the old wetland system that connected directly to El Pandeño and possibly formed a large habitat for *C. julimes* (Figure 3).

To better understand the history of the system prior to human alteration, three littoral sediment sequences (sediment cores), which spanned the sequence from the present surface to a depth of 1.5 m, were obtained in the dry wetland area of the system (Rodríguez-Ramírez and Ballesteros-Barrera 2009). Radiocarbon dating and analyses of sediments and diatoms were used to reconstruct the system's paleo-environment. These studies revealed that five major ecological changes occurred in the system over the past 3200 years, with the greatest change associated with a shift from fluvial to lotic conditions (Rodríguez-Ramírez and Ballesteros-Barrera 2009). The critical ecological shift occurred ~ 2,100 years BP with the development of a shallow and stable wetland marked by lentic, oligotrophic, and low energy conditions. By 735 years BP, the system had acquired spring conditions that appear to have been similar to those seen today, as the fossil record included an abundance of the same spring associated aquatic plants (*Denticula*, *Epithemia*, *Rhopalodia* and *Pinnularia*) and diatoms (*Cocconeis* and *Cymbella*) that are found in the system today.

Today the system discharges water at a rate of 70 lps through a series of thermal springs located mainly along the eastern and southern banks of the main channel (Figures 2 and 3). Thermal waters flow from east to west from zones VI to III, and also flow from the Zone IV-Zone V region into Zone II from north to south. At the southern limit of Zone II, a south to north low-yield inflow of cool water inflow mixes with the thermal waters throughout Zone II. This mixing results in a temperature gradient across Zone II, with temperature increasing from Site 1 to Site 3 (Figure 4).

The waters of moderate to high temperature (~38°C to ~45°C) of Zone II are favored by *C. julimes* (Figure 5). In the cooler waters (36-38°C) of Zone I and Site 1 in Zone II (Figures 4 and 5), a vigorous community of vascular plants (primarily *Typha dominguensis*) is supported, as is an undescribed mosquitofish (*Gambusia sp.*). This aquatic system also supports riparian vegetation that includes *Flaveria chloraefolia*, *Heliotropium curassavicum* var. *curassavicum*, and *Samolus ebracteatus*, and the endemic, arsenic tolerant *Eleocharis arsenifera* (González-Elizondo 2005). Mats of Cyanobacteria predominate the rest of the system (Table 1; Figure 6). The mosaic of colors, textures, and growth types of bacterial mats across the temperature gradient appear to represent a gradient in the species composition of this community. Colors range from light green-blue to brownish-red, passing through yellow and brown (Montejano & Becerra 2009). Surrounding terrestrial vegetation is xeric shrubland typical of central Chihuahua (Estrada-Castillón & Villarreal Quintanilla 2010), and halophyte grasslands stand in the northern section of the

agua proveniente del afluente principal del manantial. El análisis indicó que la mayor parte de las aguas que manan en El Pandeño ingresaron al acuífero durante o previo al año 1952, mientras que las aguas provenientes de los flujos superficiales tienen un origen mucho más reciente (Chávez-Rodríguez, 2008). Análisis hidrogeoquímicos y piezométricos corroboran la existencia de una conexión hidráulica directa entre El Pandeño y otras fuentes de agua subterránea en la región inmediata (es decir, el acuífero subyacente del Valle Meoqui-Delicias). Este último hallazgo tiene implicaciones de manejo ya que el bombeo de agua cercano a los manantiales podría tener efectos negativos en el flujo de agua y las propiedades fisicoquímicas del ecosistema acuático de El Pandeño.

Las actividades humanas en las últimas siete décadas alteraron la hidrología de El Pandeño. Por ejemplo, el análisis geomorfológico de la zona y su hidrología superficial demostró que en las secciones centrales del arroyo, ahora intermitente, existieron manantiales asociados al sistema. Durante la construcción de la carretera asfaltada que conduce a la cabecera municipal de Julimes, la sección alta del arroyo fue bloqueada y su cauce trasvasado, cruzando el parteaguas somero que separa la micro-cuenca norteña adyacente. El arroyo también fue modificado y su cauce desviado hacia las secciones bajas de la llanura aluvial que fue transformada en campos agrícolas (Figura 2). Las modificaciones al sistema incluyó la construcción, con el uso de maquinaria pesada, de galerías filtrantes canalizadas por medio de las cuales se drenó el antiguo sistema de humedales que conectaban directamente con El Pandeño, y que muy posiblemente conformaban un hábitat amplio para *C. julimes* (Figura 3).

Para entender mejor la historia del sistema previo a la alteración humana, se obtuvieron tres secuencias de sedimentos litorales (núcleos de sedimentos), que abarcaron desde la actual superficie del sistema hasta una profundidad de 1.5 m en la zona seca del humedal (Rodríguez-Ramírez & Ballesteros Barrera, 2009). Se reconstruyó el paleo-ambiente usando datación por radiocarbono y análisis de sedimentos y diatomeas. Los estudios revelaron cinco cambios ecológicos importantes ocurridos en el sistema durante los últimos 3,200 años, siendo el mayor de estos la transformación en las condiciones del humedal de fluviales a lótic (Rodríguez-Ramírez & Ballesteros-Barrera, 2009). Se determinó que hace ~2,100 años se produjo una transformación ecológica con la formación de un humedal estable y superficial caracterizado por condiciones lénticas, oligotróficas y de baja energía. Hacia hace 735 años, el sistema ya había adquirido condiciones de humedal aparentemente similares a las que se observan hoy, pues el registro fósil incluye abundancia de plantas acuáticas (*Denticula*, *Epithemia*, *Rhopalodia* y *Pinnularia*) y diatomeas (*Cocconeis* y *Cymbella*) típicas de manantial, similares a las que actualmente se encuentran en el sistema.

El Pandeño genera un gasto de 70 lps a través de una serie de manantiales termales principalmente localizados en el borde oriental y meridional del cauce principal (figuras 2 y 3). Las aguas termales fluyen de este a oeste de la zona VI a III y de la región que conforman las zonas IV y V a la zona II de norte a sur. En el límite sur de la zona II, un afluente de agua fría de bajo rendimiento corre de sur a norte y se mezcla con las aguas termales a lo largo de la zona II. Esta mezcla da lugar a un gradiente termal en la zona II, con temperaturas crecientes desde el sitio 1 hasta el sitio 3 (Figura 4).

C. julimes prefiere las aguas con temperaturas moderadas a altas (~38°C a ~ 45°C) de la zona II (Figura 5). En las aguas más frías (36-38°C) de la zona I y el sitio 1 en la zona II (figuras 4 y 5), se observa una comunidad vigorosa de plantas acuáticas vasculares (principalmente *Typha dominguensis*). En esta zona habita un guayacón (*Gambusia sp.*) no descrito. El sistema acuático también alberga vegetación ribereña que incluye *Flaveria chloraefolia*, *Heliotropium curassavicum* var. *curassavicum* y *Samolus ebracteatus* así como la planta endémica arsénico tolerante, *Eleocharis arsenifera* (González-Elizondo 2005). En el resto del sistema predominan los tapetes de cianobacterias (cuadro 1; Figura 7). Los mantos bacterianos a lo largo del gradiente de temperatura que

system where a wetland existed prior to habitat alterations associated with agricultural activities (Figure 3). Dispersed mesquite (*Prosopis velutina*) bosques dominate the remainder of the elevated area to the immediate north and south sides of Zone II (Castañeda-Gaytán *et al.* 2008).

While El Pandeño is relatively stable, in Zone II seasonal variation in mean water temperature is correlated positively ($r^2 = 0.9$) with daily and seasonal increases in the intensity of solar radiation and seasonal changes in ambient temperature. Seasonal daytime water temperature exhibited a constant but incremental increase from winter to summer, underwent a gradual decline through autumn, and reached minimum values in the winter (Figure 4). Although this spring system tends toward hypoxic conditions, diel O_2 production cycles and water temperature variation showed cyclic patterns, with the lowest values found just prior to dawn. It appears that mixing of oxygenated thermal and cooler surficial waters in Zone II allow O_2 to be maintained overnight at levels sufficient to allow pupfish to survive.

Biology and ecology of Julimes pupfish. The Julimes pupfish *Cyprinodon julimes* (De la Maza-Benignos & Vela-Valladares, 2009) is a microendemic pupfish that maintains a small population within highly degraded desert spring system. The combination of a narrow distribution and increasing demands on water resources of the region place this species at high risk of extinction, and as a result this pupfish is considered Critically Endangered (*sensu* Rabinowitz *et al.* 1986; De la Maza-Benignos *et al.* 2010b). Efforts to protect this species are coordinated under the Vital Signs Monitoring Program for the species and habitat of El Pandeño Spring, a program that promotes biodiversity conservation through an initiative for sustainable development of natural resources (De la Maza-Benignos *et al.* 2012). The focus of this program is holistic, including participation of members of Amigos del Pandeño, characterization of the abiotic and biotic components of the ecosystem, monitoring of the pupfish and its habitat, and habitat restoration where necessary.

This effort is highlighted by recent initiation of a long-term genetic monitoring program for the species. To date, this has included development of nuclear DNA encoded microsatellite loci (Carson *et al.* 2013a) to provide an initial evaluation of the conservation genetic status of this pupfish to help establish a long-term genetic monitoring program for the species. The conservation genetic study revealed that genetic diversity is low and that effective population size is critically low in the species. These findings indicate that genetic risks of extinction of *C. julimes* are present, with primary concerns related to the effects of inbreeding depression and the loss of adaptive variation over time (Carson *et al.* 2013b). Future studies will continue monitoring of the population in El Pandeño, including pupfish now present in the restored marsh habitat (Figure 3).

While genetic considerations are important in management of *C. julimes*, stochastic environmental and demographic events likely pose more immediate risks of extinction. This concern prompted recent characterization of the behavior, density, and distribution of *C. julimes* in relation to the physical and chemical characteristics of its habitat. During 2010, Vela-Valladares and De la Maza-Benignos conducted population monitoring of the density and distribution of the pupfish throughout its primary habitat and found that *C. julimes* counteract extreme high temperatures through behavioral strategies that reduce physical activity during the hottest hours of the day, and through seasonal (summer) utilization of cooler areas, especially at the interface of zones I and II (Figures 4 and 5). As higher local temperatures increased ($>43^\circ\text{C}$), fish were less active, especially during the summer. As temperatures decreased toward the evening, and in cooler months, pupfish activity also increased.

conforman un mosaico de colores, texturas y tipos de crecimiento, parecen representar un gradiente en la composición de especies de esta comunidad. El intervalo de colores abarca del verde azulado claro al pardo rojizo, pasando por amarillo y marrón (Montejano & Becerra 2009). La vegetación terrestre circundante corresponde al matorral xerófilo típico de Chihuahua central (Estrada-Castillón & Villarreal Quintanilla 2010) con algunos pastizales halófitos en la sección norte del sistema, donde hubo una ciénega, previo a las alteraciones asociadas a las actividades agropecuarias (Figura 3). Los mezquites dispersos (*Prosopis velutina*) dominan el resto de las áreas elevadas, incluidos los bancos norteños y sureños de la zona II (Castañeda-Gaytán *et al.* 2008).

Las condiciones temporales de El Pandeño son relativamente estables, la variación estacional de la temperatura media del agua en la zona II se correlaciona positivamente ($r^2 = 0.9$) con los aumentos diarios y estacionales en la intensidad de la radiación solar y los cambios estacionales en la temperatura ambiente. La temperatura del agua diurna estacional exhibió un aumento constante pero incremental de invierno a verano, experimentó un descenso gradual durante el otoño, y alcanzó los valores mínimos durante el invierno (Figura 6). Aunque el sistema muestra una tendencia hacia condiciones hipóxicas, los ciclos diarios de producción de O_2 y las variaciones en la temperatura del agua muestran patrones cíclicos, con valores más bajos de oxígeno disuelto justo antes del amanecer. Al parecer, la mezcla de agua termal oxigenada y la entrada de aguas frías superficiales en la zona II permiten que los niveles de O_2 disuelto se mantengan suficientes durante la noche para permitir la supervivencia del pez cachorrito (Figura 6).

Biología y ecología del cachorrito de Julimes. El cachorrito de Julimes *Cyprinodon julimes* (De la Maza-Benignos & Vela-Valladares, 2009) es una especie de pez microendémica que mantiene una pequeña población dentro de un sistema altamente degradado de manantiales. La combinación de un intervalo de distribución muy estrecho con la creciente demanda de agua regional colocan a la especie en alto riesgo de extinción, por lo que el cachorrito de Julimes está considerado como especie en peligro crítico (*sensu* Rabinowitz *et al.* 1986; De la Maza-Benignos *et al.* 2010b). Los esfuerzos para conservar al cachorrito de Julimes se coordinan bajo el Programa de Monitoreo de Signos Vitales para el manantial El Pandeño y sus hábitats y especies. El Programa promueve la conservación de la biodiversidad a través de una iniciativa para el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales (De la Maza-Benignos *et al.* 2012). El enfoque del Programa es holístico, y contempla la participación directa de los miembros de Amigos del Pandeño, la caracterización de los componentes bióticos y abióticos del ecosistema, el monitoreo del cachorrito de Julimes y su hábitat, así como la restauración del hábitat donde sea necesario.

Resalta el reciente inicio de un programa de monitoreo genético a largo plazo para la especie que ha permitido la obtención de loci microsatélites nucleares de ADN codificados (Carson *et al.* 2013a); el cual proporcionó una evaluación inicial del estado de conservación genética del pez; y permite el monitoreo genético de largo plazo para la especie. El estudio genético de conservación reveló que la diversidad genética de la especie es baja y que su tamaño efectivo de población es críticamente bajo. Estos resultados indican un riesgo genético de extinción presente en *C. julimes*. Preocupan los posibles efectos de la depresión por endogamia y la pérdida de variación adaptativa en el tiempo (Carson *et al.* 2013b). El programa contempla el desarrollo de estudios a futuro, incluyendo la continuación del monitoreo genético, así como también a los individuos ya presentes en secciones restauradas de la ciénega (Figura 3).

Mientras que las consideraciones genéticas son importantes para el manejo de *C. julimes*, los eventos estocásticos ambientales y demográficos probablemente representan los riesgos más inmediatos para la especie. Esta preocupación condujo a la reciente caracterización de la conducta, densidad y distribución de *C. julimes* asociada a las características físicas y químicas del hábitat. Durante el 2010, Vela-Valladares y De la Maza-Benignos realizaron un monitoreo poblacional de

As noted above, *C. julimes* favors Site 1 in Zone II (Figure 5). The pupfish is less abundant but still common in the warmer habitats of sites 2 and 3, and also is found in sites 4 and 5 of Zone IV, and site 6 of Zone V. At Site 1, pupfish were active and abundant year round, with saturated densities during the months of June and July. Activity levels of pupfish in sites 2 and 3 were similar to each other but less active than that observed in pupfish from Site 1. Densities of pupfish were limited consistently from February through April at Site 2 and from July and August at Site 3. At both of these sites, densities were very low in June and July, yet densities were moderately high from September and could be saturated January. For Site 4, pupfish were scarce to uncommon year round, except in the months of November and December, when *C. julimes* was moderately abundant, and in January, when the species was abundant at this site. At Site 5, pupfish were rare to uncommon, except from October through February, when the pupfish was moderately abundant.

In summary: (1) concentration of O_2 does not appear to be the factor that limits pupfish abundance within its distribution in El Pandeño, as *C. julimes* was most abundant at the site that consistently exhibited the lowest concentration of dissolved O_2 ; (2) *Cyprinodon julimes* evolved physiologic adaptations to high temperature and hypoxia, and this species is anatomically and physiologically adapted to complete its life cycle in extreme temperatures and low levels of dissolved O_2 - to at least as low as 0.8 mg/l; (3) temperature is the main factor that drives pupfish functional ethology, including choice/preference for physical spaces, seasonal tempo-spatial movements, reproductive behavior and levels of activity; (4) *C. julimes* prefers areas with daily temperatures averaging 42°C or less (Figures 4 and 5), but it occurs at low abundance in waters in which the average daily temperature reaches as high as 44.8°C; and (5) while reproductive activity was observed year round in spring areas with a daily average temperatures 40°C and below, the most remarkable color changes and the greatest reproductive activity in males was observed in Site 3 during the months of November and December (Figure 5).

la densidad y distribución de los cachorritos a lo largo de su hábitat primario, y encontraron que *C. julimes* contrarresta las altas temperaturas a través de estrategias conductuales que reducen la actividad física durante las horas más calientes del día, así como la utilización estacional (verano) de las áreas más frías, especialmente en el interfaz de las zonas I y II (figuras 4 y 5). Conforme la temperatura aumentaba (>43°C), los peces se tornan menos activos, especialmente durante el verano. Conforme estas disminuyen hacia la noche y en los meses más fríos, la actividad del cachorrito también aumenta.

Como ya se señaló, *C. julimes* prefirió el sitio 1 en la zona II (Figura 5). El cachorrito fue menos abundante pero común en los hábitats más cálidos de los sitios 2 y 3. También se encontró en los sitios 4 y 5 de la zona IV y el sitio 6 de zona V. En el sitio 1, los cachorritos estuvieron activos y fueron abundantes durante todo el año, con densidades saturadas durante los meses de junio y julio. Los niveles de actividad en los sitios 2 y 3 fueron similares a los demás, con menor actividad que la observada en el sitio 1. Las densidades se mantuvieron consistentemente limitadas desde febrero hasta abril en el sitio 2 y desde julio a agosto en el sitio 3. En ambos sitios estas fueron muy bajas en junio y julio, tornándose moderadamente altas a partir de septiembre y saturadas en enero. En el sitio 4, los cachorritos estuvieron escasos durante todo el año, excepto durante los meses de noviembre y diciembre, cuando *C. julimes* se tornó moderadamente abundante; y en enero, cuando la especie se tornó abundante. En el sitio 5, los cachorritos fueron raros e infrecuentes, excepto durante los meses de octubre hasta febrero, cuando se hicieron moderadamente abundantes.

En Resumen: (1) la concentración de O_2 parece no ser el factor que limita la abundancia del cachorrito en su intervalo de distribución en El Pandeño. El pez fue más abundante en el sitio que consistentemente exhibió la menor concentración de O_2 disuelto; (2) *Cyprinodon julimes* evolucionó adaptaciones fisiológicas a las altas temperaturas y a la hipoxia. La especie se encuentra adaptada anatómica y fisiológicamente para completar su ciclo de vida en temperaturas extremadamente altas con bajos niveles de O_2 disuelto –tan bajas como 0.8 mg/l –; (3) la temperatura es el principal factor que mueve la etología funcional de los cachorritos de Julimes, incluyendo la elección/preferencia por espacios físicos, los movimientos estacionales, y espacio-temporales, su comportamiento reproductivo y los niveles de actividad; (4) *C. julimes* prefiere las zonas con temperaturas diarias promedio menores o iguales a 42°C (figuras 4 y 5), pero se observaron abundancias bajas en aguas cuya temperatura promedio diaria alcanzaba o sobrepasaba los 44.8°C; y (5) mientras que se observó actividad reproductiva durante todo el año en las zonas del manantial con temperatura media diaria de 40°C y más, los cambios más notables del color y la mayor actividad reproductiva de los machos se observó en el sitio 3 durante los meses de noviembre y diciembre (Figura 5).

III. DISCUSSION AND CONCLUSIONS/ DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Projected effects of climate change in Mexico, as in other parts of the world, include added stresses on already over-taxed water resources (Liverman & O'Brien 1991; Frederick & Major 1997; Magaña & Conde 2000; Tilman *et al.* 2001; Christensen *et al.* 2004; Barrios *et al.* 2009). In Mexico, adaptation to climate change has become an urgent concern for the water-resource sector (Magaña-Rueda & Gay-García 2002). Management of this problem, however, is hampered by the declining but uneven distribution of water resources, as well as poorly developed capabilities and weak legal provisions for environmental water-management (Barrios *et al.* 2009). Even without consideration of the effects that climate change is projected to have on water supply, current demand on water resources in the Middle Rio Conchos Basin already exceed supply from the system, and in consequence, have caused severe ecological degradation of aquatic habitats in the basin (Vorosmarty *et al.* 2000). The direct effects of human activity on regional water stress and loss of biodiversity may help inform the broader climate change discussion. For example, despite excessive and widespread environmental degradation in the Rio Conchos Basin, this system remains one of the largest and most ecologically important and biodiverse rivers of northern México (De la Maza-Benignos *et al.* 2009). The need to preserve its biodiversity is urgent but still attainable, especially if river management policies emphasize strategies that achieve sustainable use through sharing of land and water resources between human communities and the natural environment.

Today, approaches to water management remain broadly divided between 'supply-side' and 'demand-side' strategies of adaptation management, as defined by the United Nations-established Intergovernmental Panel on Climatic Change (IPCC 2007). Supply side approaches often have been hindered by arguments that the effects of human activity need to be demonstrated with 'certainty' before economic disruptions are implemented to alter the status quo of water management. This demand essentially calls for absolute certainty and, therefore, demonstrates a lack of understanding about what uncertainty means from a scientific standpoint. In consequence, this problem has resulted in avoidable degradation of ecosystems and the failure to secure long-term sustainability of water resources. While these problems may be alleviated in many cases (Kundzewicz *et al.* 2007), whether this is true at a landscape-scale is the subject of debate, and the results in most cases are inconsistent with the stated mission of "maintaining the world's ecological underpinnings that sustain life on earth, as we go about the business of economic development," as declared under the United Nations Convention on Biodiversity (2000).

The current water management paradigm in Mexico promotes total extraction of water for consumptive uses. In a departure from the status quo, the Julimes experiment demonstrated the value, and the potential for broader success, of demand-side approaches to adaptive management of water resources, especially in arid lands. This direct-to-user approach has demonstrated the potential to alleviate or prevent environmental degradation and biodiversity loss through the development of governance mechanisms that encourage sustainable use of water and other natural resources. Specifically, by tying consumptive water use to recognition of the environment as rightful 'user' of water resources, the foundation charter for a grassroots NGO established by the farmer-landowner community of El Pandeño Spring represented a major step in implementing a paradigm shift in water-resource conservation in Mexico. The partnership with "Amigos del Pandeño, A.C.," illustrates how connecting the needs of landowner and the environment can result in robust stewardship of natural resources and conservation of aquatic ecosystems and their native and endemic inhabitants while also enhancing the opportunity of long-term sustainability of water resources for human needs.

Los efectos proyectados del cambio climático en México, como en otras partes del mundo, incluyen la presión incremental sobre los ya sobrexplotados recursos hídricos (Liverman & O'Brien 1991; Frederick & Major 1997; Magaña & Conde 2000; Tilman *et al.* 2001; Christensen *et al.* 2004; Barrios *et al.* 2009). Para el sector hídrico mexicano la adaptación al cambio climático se ha convertido en un asunto urgente (Magaña-Rueda & Gay-García 2002). La gestión de este problema, sin embargo, es obstaculizada por una distribución en decremento, pero desigual de los recursos naturales, así como por capacidades limitadas y un marco jurídico inapropiado en materia de gestión ambiental del agua (Barrios *et al.* 2009). Inclusive sin considerar los efectos proyectados del cambio climático sobre el abastecimiento de agua, la demanda actual en la cuenca media del río Conchos supera la oferta del sistema, lo cual ha provocado una manifiesta degradación ecológica de los hábitats acuáticos en la cuenca (Vorosmarty *et al.* 2000). Los efectos directos de las actividades humanas que generan estrés hídrico regional, y su relación con la pérdida de biodiversidad aportan elementos valiosos al debate más amplio acerca del cambio climático. Por ejemplo, a pesar de la degradación ambiental excesiva y generalizada en la cuenca de río Conchos, éste continúa siendo uno de los ríos ecológicamente más importantes y biodiversos del norte de México (De la Maza-Benignos *et al.* 2009). La necesidad de preservar su biodiversidad es urgente pero aún alcanzable, especialmente si las políticas de gestión apoyan aquellas estrategias que buscan el aprovechamiento sostenible a través de compartir los recursos naturales terrestres y acuáticos entre las comunidades humanas y el entorno natural.

Hoy, las perspectivas para la gestión del agua se encuentran ampliamente divididas entre las estrategias de manejo adaptativo que se enfocan en la «oferta» y aquellas que se enfocan en la «demanda», según lo definido por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas (IPCC 2007). A menudo, los enfoques basados en la oferta son obstaculizados bajo el argumento de la necesidad de demostrar con plena «certeza» los efectos de las actividades antropogénicas previo a efectuar interrupciones económicas que alteran el *status quo* de la gestión hídrica. Este argumento esencialmente obliga a la certeza absoluta y, por lo tanto, prueba la falta de comprensión acerca del significado de certidumbre desde un punto de vista científico. Dicha visión conlleva a la degradación evitable de los ecosistemas, incluida la imposibilidad de garantizar la sustentabilidad de los recursos hídricos en el largo plazo; y mientras que algunos de estos efectos pueden en muchos de los casos ser aliviados (Kundzewicz *et al.* 2007), la posibilidad de lograrlo a la escala de paisaje es el tema del debate, pues los resultados en la mayoría de los casos son inconsistentes con el compromiso de «mantener los sustentos ecológicos mundiales a medida que avanzamos en el negocio del desarrollo económico», tal y como lo declara la Convención de las Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica (2000).

El actual paradigma de gestión del agua en México promueve la extracción total en los usos consuntivos. En un apartamiento del *status quo*, el experimento en Julimes ilustró el valor y potencial de éxito que ofrecen los enfoques de manejo adaptativo de los recursos hídricos enfocados en la demanda, especialmente en las zonas áridas. Este enfoque directo-a-usuario ha demostrado su potencial para aliviar o prevenir la degradación ambiental y la pérdida de la biodiversidad a través del desarrollo de mecanismos de gobernanza ambiental que fomentan el uso sustentable del agua y otros recursos. Específicamente, al atar el uso consuntivo del agua con el reconocimiento del medio ambiente como 'usuario' legítimo de los recursos hídricos, el acta constitutiva de la ONG fundada por una comunidad de agricultores usuarios del manantial El Pandeño, representó un paso importante en la implementación de un cambio de paradigma

The proposal in Julimes set up an environmental flow and also defined a new paradigm in which water needed for the environment limits the amount of water that can be extracted for consumptive purposes. This agreement fosters long-term sustainability such that farmers and the environment benefit. While the National Water Law and its by-law permit the specification of environmental use, missing from this law is clarity about and procedures for the legal mechanism to establish and enforce an environmental use requirement for any specific freshwater system. For example, should an environmental flow be established as a prior right (reserve before other allocations) or as an allocation (title) in competition with other users? The ground breaking attempt to allocate a legally binding water title for environmental use in El Pandeño provided the opportunity to test the Mexican National Water Law in relation to environmental use, while development of this model demonstrated that the policy framework for implementation of environmental flows in Mexico needs to be developed further.

The Julimes project created a precedent for implementing a legally binding environmental statute because a thorough ecological understanding of the macro- and micro-habitats of El Pandeño Spring was required to develop an effective management program for the system. This included characterization of i) the system into sets of interconnected subsystems and discrete habitat types and ii) changes across physical, chemical, and biological gradients. Ultimately, research conducted under this study allowed assessment of the conservation status of *C. julimes* through application of the Methodology for Risk Evaluation (MER) mandated by SEMARNAT (2010). This assessment led to official designation of *C. julimes* as in-danger-of-extinction (P) under the Mexican endangered species list (De la Maza-Benignos *et al.* 2010a). A subsequent genetics-based study supported this designation (Carson *et al.* 2013a,b).

Expansion of this model to other systems, particularly in arid regions of Mexico, may lead to broader successes in preservation of biodiversity via initiatives for sustainable development of natural resources. Had such a model been operative over the past few decades, other systems might not have been lost, including, perhaps, the unique desert spring habitats and species in the Sandia and Potosí valleys of Nuevo León, Mexico (Contreras-Balderas & Lozano-Vilano 1996). A more comprehensive understanding of the interactions between hydrology and biology, ecology and culture, economics and development can generate a virtuous cycle that establishes the basis for the development of conservation initiatives that promote the rational use of our natural heritage, conservation of biodiversity, and assured of supply of environmental services that foster sustainability through better governance.

Sustainable development of desert springs and wetlands contributes to the water security of an area, maintains the provision of environmental services, and, for human communities, enhances regional livelihoods and promotes economic development. The Julimes case study is an example of an adaptive-management initiative that benefited for conservation through reduction of water extraction. This was achieved through combining basic research with calculation of actual water resource needs for agriculture. Nonetheless, several remaining areas must be addressed, including: (i) the official no-pumping policy for the area needs to be enforced better by CONAGUA, at least in a radius of 3 km around the spring; (ii) ultimately, the 70 lps of water for e-flows that today are allocated on a voluntary basis need to be legally established via a formal water title; (iii) the relationship between temperature, photoperiod, and pupfish fecundity needs to be understood better before a restoration strategy or establishment of an artificial-satellite pupfish population can be developed and implemented; (iv) before a peer-reviewed Vital Signs Monitoring Program is implemented fully, additional biological investigations are needed

hacia la conservación de los recursos hídricos en México. La Asociación Amigos del Pandeño, A.C., demostró cómo al conectar las necesidades de los usuarios con el medio ambiente se puede tutelar la administración de los recursos naturales y la conservación de los ecosistemas acuáticos y sus habitantes.

La propuesta en Julimes estableció un caudal ecológico y definió un nuevo paradigma en el que el agua necesaria para el medio ambiente limita la cantidad de agua que se puede extraer para fines de consumo. Este acuerdo fomenta la sostenibilidad a largo plazo en beneficio tanto de los agricultores como del medio ambiente. Si bien la *Ley de Aguas Nacionales* y su reglamento contemplan el uso ambiental, estos no son claros en cuanto a los procedimientos y mecanismos legales para establecer y hacer cumplir el uso ambiental en cualquier sistema dulceacuícola. Por ejemplo, ¿Se debe establecer el uso ecológico como una obligación anterior a cualquier uso (reserva antes que otras asignaciones) o como una asignación o derecho de agua en competencia con los demás usos? El intento innovador para asignar un título de agua jurídicamente vinculante para el uso ecológico en El Pandeño brindó la oportunidad de probar la Ley de Aguas Nacionales de México en relación con el uso ecológico, mientras que el desarrollo de este modelo demostró que el marco normativo para la aplicación de los flujos ambientales en México debe desarrollarse aún más.

El proyecto de Julimes creó un precedente para la aplicación de la ley en materia ambiental, pues requirió de una comprensión ecológica profunda de los macro y micro-habitats de El Pandeño para poder desarrollar un programa de manejo eficaz para el sistema. Esto incluyó la caracterización de i) el sistema en conjuntos de subsistemas interconectados y tipos discretos de hábitat y ii) los cambios a través de los gradientes físicos, químicos y biológicos. En última instancia, la investigación llevada a cabo bajo este estudio permitió llevar a cabo la evaluación del estado de conservación de *C. julimes* a través de la aplicación de la *Metodología para la Evaluación de Riesgo* (MER) dispuesta por la SEMARNAT (2010), y que condujo a la designación oficial de *C. julimes* como en peligro de extinción (P) en la lista de especies en peligro de México (De la Maza-Benignos *et al.* 2010a). Un estudio posterior basado en la genética apoyó dicha designación (Carson *et al.* 2013a, b).

La extensión de este modelo a otros sistemas, particularmente en las regiones áridas de México, podría generar éxitos más amplios en la preservación de la biodiversidad mediante iniciativas para el desarrollo sostenible de los recursos naturales. De haber existido un modelo operativo en las décadas anteriores, otros sistemas tal vez no se hubieran extinguido, incluyendo, por ejemplo, los hábitat únicos de los manantiales de los valles de Sandia y el Potosí en Nuevo León, México, y su fauna microendémica (Contreras-Balderas & Lozano-Vilano 1996). Una comprensión más amplia de las interacciones entre la hidrología y la biología, la ecología y la cultura, y la economía y el desarrollo detonan un círculo virtuoso que establece las bases para el desarrollo de iniciativas de conservación que promueven el uso racional de nuestro patrimonio natural, la conservación de la biodiversidad, y la seguridad de suministros de servicios ambientales que fomenten la sostenibilidad mediante un mejor gobernanza.

El desarrollo sustentable de los manantiales y humedales de las zonas áridas contribuye a la seguridad hídrica de las regiones, mantiene la provisión de servicios ambientales y, para las comunidades humanas, mejora la calidad de vida, fomentando el desarrollo económico sustentable. El estudio de caso en Julimes se torna ejemplo de iniciativa de gestión adaptativa que

to determine the suite of natural resources that need to be preserved, including water, geological resources, plants and animals, as well as ecological, biological, and physical processes that act on those resources; and (v) additional layers of protection should be explored, including the “Refuge Area for the Protection of Aquatic Species,” as designated under the General Wildlife Law, articles 63, 66 and 73 (Ley General de Vida Silvestre 2000). Despite progress in biodiversity conservation in Julimes, protection for the critically endangered Julimes pupfish and conservation of its habitat remain urgent concerns.

ACKNOWLEDGEMENTS

We dedicate this contribution to the memory of Adolfo Chávez-Rodríguez. The authors wish to thank José Alfredo Rodríguez-Pineda, Jürgen Hoth-Von der Meden and Haydée Parra-Gallo for their reviews and suggestions on an early version of the manuscript. We also acknowledge Amigos del Pandeño, A.C., the Chihuahua State -SDUE- and the Julimes Municipal governments. We also thank SEMARNAT, CONANP and the WWF for their assistance and support.

favorece la conservación del medio ambiente a través de la reducción en la extracción de agua. Esto se logró a través de la conjugación de investigaciones científicas, con el cálculo de las necesidades hídricas para la agricultura. No obstante, restan varios puntos por abordar, incluyendo: (i) la política de veda para el área necesita aplicarse mejor por la CONAGUA, en al menos en un radio de 3 km alrededor del manantial; (ii) en última instancia, los 70 lps de agua que hoy se asignan sobre una base voluntaria necesitan ser legalmente establecidos mediante un título formal de concesión que garantice el caudal ecológico; (iii) la relación entre la temperatura, fotoperíodo y fecundidad del cachorrito de Julimes necesita entenderse mejor para fortalecer e implementar una estrategia de restauración que incluya el establecimiento de una población satélite artificial; (iv) se requiere de investigaciones biológicas adicionales que permitan afinar el programa de monitoreo de signos vitales y poder determinar el conjunto de recursos naturales que deben ser preservados, incluyendo agua, recursos geológicos, plantas y animales, así como los procesos ecológicos, biológicos y físicos que actúan sobre dichos recursos; y (v) se deben explorar algunas capas adicionales de protección, incluyendo la figura de «áreas de refugio para proteger especies acuáticas» conforme a los artículos 63, 66 y 73 de la Ley General de Vida Silvestre (2000). Pese a los avances en la conservación de la biodiversidad en Julimes, la protección de la especie en peligro crítico de extinción *Cyprinodon Julimes* y la conservación de su hábitat continúan siendo preocupaciones urgentes.

AGRADECIMIENTOS

Dedicado a la memoria de Adolfo Chávez-Rodríguez. Los autores desean agradecer a José Alfredo Rodríguez-Pineda, Jürgen Hoth-Von der Meden y Haydée Parra-Gallo por sus comentarios y sugerencias en una versión temprana del manuscrito. Agradecemos a los Amigos del Pandeño, A.C., al estado de Chihuahua - SDUE- y al gobierno municipal de Julimes. También agradecemos a la SEMARNAT, a la CONANP y al WWF por su apoyo y asistencia.



LITERATURE CITED / LITERATURA CITADA

Barrios E, Rodríguez-Pineda JA, De La Maza-Benignos M (2009) Integrated river basin management in the Conchos River basin, Mexico: a case study of freshwater climate change adaptation. *Climate and Development* 1:249-260.

Bowman TE (1985) *Thermosphaeroma cavicauda* and *T. macrura*, new sphaeromatid isopods from Mexican hot springs. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 98:1042-1047.

Brauch HG (2006) Desertification – a new security challenge for the Mediterranean? Policy agenda for recognizing and coping with fatal outcomes of global environmental change and potentially violent societal consequences. *Desertification in the Mediterranean Region-A Security Issue. NATO Security Through Science Series* 3:11-85.

Brown C (2005) Transboundary water resource issues on the US-Mexico border. *VertigoO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne]. Hors-série 2 mis en ligne le 01 septembre 2005, Consulté le 06 octobre 2011. URL: <http://vertigo.revues.org/1883>.

Carabias J, Sarukhan J, De la Maza J, Galindo C (2010) *Patrimonio Natural de México: Cien Casos de Éxito*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México 240 pp.

Carson EW, Beasley RR, Jones KL, Lance SL, Lozano-Vilano ML, Vela-Valladares L, Banda-Villanueva I, Turner TF, De la Maza-Benignos M (2013a) Development of polymorphic microsatellite markers for the microendemic pupfishes *Cyprinodon julimes* and *C. pachycephalus*. *Conservation Genetics Resources* 5:853-856.

Carson EW, De la Maza-Benignos M, Lozano-Vilano ML, Vela-Valladares L, Banda-Villanueva, Turner TF (2013b) Conservation genetic assessment of the critically endangered Julimes pupfish, *Cyprinodon julimes*. *Conservation Genetics* 15:483-488.

Castañeda-Gaytán G, Jiménez-González C, Blando-Navarrete JL, Ortega-Escobar M, Valencia-Castro M (2008) Plan de Manejo del Area Natural Protegida “El Pandeño” en el Municipio de Julimes Chihuahua. BIODIVERSITY A. C., Universidad Juárez del Estado de Durango and Universidad Autónoma de Chihuahua for World Wildlife Fund. <http://amigosdelpandeno.org/ligas.html>.

Ceballos G, Davidson A, List R, Pacheco J, Manzano-Fischer P, Santos-Barrera G (2010) Rapid decline of a grassland system and its ecological and conservation implications. *PLoS ONE* 5(1): e8562. doi:10.1371/journal.pone.0008562.

Chávez-Rodríguez A (2008) Diagnóstico hidrogeológico de los manantiales termales de Julimes, Chihuahua. WWF Programa del Desierto Chihuahuense and Estudios y Proyectos en Agua Subterránea S.A. <http://amigosdelpandeno.org/ligas.html>.

Christensen NS, Wood AW, Voisin N, Lettenmaier DP, Palm RN (2004) The effects of climate change on the hydrology and water resources of the Colorado River Basin. *Climatic Change* 62:337-363.

Cohen MA (2005) El agua en la frontera México-Estados Unidos: reto político ambiental. *Espacio Abierto* 14:215-238.

Cole GA, Bane CA (1978) *Thermosphaeroma subequalum*, n. gen., n. sp. (crustacea: Isopoda) from Big Bend National Park, Texas. *Hydrobiologia*, 59:223-228.

Comisión Nacional del Agua (2010) Oficio No. BOO.E.22.1/SU-4751. Resolución Dirección Local Chihuahua, Subdirección de Administración del Agua. 28 de septiembre de 2010.

Contreras-Balderas S (2000) Annotated checklist of introduced invasive fishes in Mexico, with examples of some recent introductions. In Claudi, R. and J. H. Leach (editors). Nonindigenous Freshwater Organisms, Vectors, Biology and Impacts. Lewis Publishers: 33-54.

Contreras-Balderas S, Lozano-Vilano ML (1996) Extinction of most Sandia and Potosí valleys (Nuevo León, Mexico) endemic pupfishes, crayfishes and snails. Ichthyological Exploration of Freshwaters 7:33-40.

De La Maza-Benignos M, Vela-Valladares L (2009) *Cyprinodon julimes* sp. nov. Los Peces del Río Conchos (editor: De la Maza Benignos, M.). Alianza WWF-FGRA y Gobierno del Estado de Chihuahua. 185-189.

De La Maza-Benignos M, Lozano-Vilano ML, García-Ramírez ME, Artigas Azas JM, Salazar-González M, Ruiz-Campos G, Vela-Valladares L (2009) Los Peces del Río Conchos. Mexico. Alianza WWF-Fundación Gonzalo Río Arronte y Gobierno del Estado de Chihuahua. 197 pp.

De La Maza-Benignos M, Hoth Von Der Maden J, Rodríguez-Pineda JA, Parra-Gallo H, Vela-Valladares L (2010a) Rescate del cachorrito de Julimes. En Carabias J, Sarukhan J, De la Maza J, Galindo C (coordinadores). "Patrimonio Natural de México: Cien Casos de Éxito". 2010. México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México 240 pp.

De La Maza-Benignos M, Lozano-Vilano ML, García-Ramírez ME, Contreras-Balderas AJ, Vela-Valladares L, Rodríguez-Pineda JA, Hoth Von Der Maden J (2010b) Propuesta para la inclusión del pez cachorrito de Julimes (*Cyprinodon julimes*) como especie en peligro de extinción en la lista mexicana de especies en riesgo (NOM-059-SEMARNAT). Instituto Nacional de Ecología de México. Convocatoria para la elaboración de propuestas para la modificación de la lista de especies en riesgo de la NOM-059-SEMARNAT-2001.

De La Maza-Benignos M, Rodríguez-Pineda JA, De la Mora-Covarrubias A, Carson EW, Quiñones-Martínez M, Lavín-Murcio P, Vela-Valladares L, Lozano-Vilano ML, Parra-Gallo H, Macías-Duarte A, Lebgue-Keleng T, Pando-Pando E, Pando-Pando M, Andazola-González M, Anchondo-Najera A, Quintana-Martínez G, Zapata-López J, Banda-Villanueva IA, Ibarrola-Reyes HJ (2012) "Planes de Manejo y Programa de Monitoreo de Signos Vitales para las Áreas de Manantiales de la UMA El Pandeño; y San Diego de Alcalá en el Desierto Chihuahuense" (Management plans and monitoring program of "vital signs" of the spring areas of UMA-El Padeño and San Diego de Alcalá in the Chihuahuan Desert). Vol 1. Pronatura Noreste, A. C. (Editor). Amigos del Pandeño, A. C. 162 pp.

Dinerstein E, Olson D, Atchley J, Loucks C, Contreras-Balderas S, Abell R, Iñigo E, Enkerlin E, Williams C, Castilleja G (2001) Ecoregion-based conservation in the Chihuahuan Desert. A Biological Assessment. <http://assets.panda.org/downloads/wwfbinaryitem2757.pdf>

Duda AM & El-Ashry MT (2000) Addressing the global water and environment crises through integrated approaches to the management of land, water and ecological resources. Water International 25:115-126.

Edwards RJ, Garrett GP, Marsh-Matthews E (2002) Conservation and status of the fish communities inhabiting the Río Conchos basin and middle Rio Grande, México and U.S.A. Reviews in Fish Biology and Fisheries 12:119-132.

Estrada-Castillón E, Villarreal-Quintana JE (2010) Flora del centro del estado de Chihuahua, México. Acta Botanica Mexicana 92: 51-118.

Falkenmark, M (2013) Adapting to climate change: towards societal water security in dry-climate countries. International journal of water resources development 29:123-136.

Frederick KD & Major DC (1997) Climate change and water resources. Climatic Change 37:7-23.

Gibson RB (2006) Beyond the pillars: sustainability assessment as a framework for effective integration of social, economic and ecological considerations in significant decision-making. Journal of Environmental Assessment Policy and Management 8:259-280.

Gleick PH (1993) Water and Conflict: Fresh Water Resources and International Security. International Security 18:79-112.

González-Elizondo MS, Tena-Flores JA, Alarcón-Herrera MT, Flores-Tavizón E, Barajas-Acosta N (2005) An arsenic-tolerant new species of *Eleocharis* (Cyperaceae) from Chihuahua, Mexico. Brittonia 57:150-154.

Gunton, TI, Day JC, Williams PW (2003) Collaborative planning and sustainable resource management: the North American experience. Environments 31:21-38.

Hershler R, Lui H-P, Landye J (2011) New species and records of springsnails (Caenogastropoda: Cochliopidae: *Tryonia*) from the Chihuahuan Desert (Mexico and United States), an imperiled biodiversity hotspot. Zootaxa 3001:1-32

Hershler R, Landye J, Liu H-P, De la Maza-Benignos M, Ornelas P, Carson EW (2014) New species and records of Chihuahuan Desert springsnails, with a new combination for *Tryonia brunei*. Western North American Naturalist 71:47-65.

IPCC (2007) Intergovernmental Panel on Climatic Change, Fourth Report. www.ipcc.ch/ipccreports/index.htm.

Irvin RA, Stansbury J (2004) Citizen participation in decision making: is it worth the effort? Public Administration Review 64:55-65.

Jonch-Clausen T, Fugle J (2001) Firming up the conceptual basis of integrated water resources management. International Journal of Water Resources Development 17:501-510.

Kim TW, Valdés JB (2002) Frequency and spatial characteristics of droughts in the Conchos River Basin, Mexico. Water International 27:420-430.

Kundzewicz Z W, Mata IJ, Arnell NW, Doll P, Kabat P, Jiménez B, Miller KA, Oki T, Sen Z, Shiklomanov IA (2007) Freshwater resources and their management. Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Parry ML, Palutikof JP, Van der Linden PJ, Hanson CE (eds). Cambridge University Press, Cambridge, UK. 173-210.

Ley General de Vida Silvestre (2000) Nueva Ley publicada en el diario oficial de la Federación el 3 de julio de 2000. Texto vigente. Última reforma publicada DOF 05-11-2013.

Liverman DM, O'Brien KL (1991) Global warming and climate change in Mexico. *Global Environmental Change* 1:351-364.

Magaña VO, Conde C (2000) Climate and freshwater resources in Northern Mexico: Sonora, a Case Study. *Environmental Monitoring and Assessment* 61:167-185.

Magaña-Rueda VO, Gay-García C (2002) Vulnerabilidad y adaptación regional ante el cambio climático y sus impactos ambientales, sociales y económicos. *Gaceta Ecológica* 65:7-23.

Meyer MK, Schories S, Scharl M (2010) Description of *Gambusia zarskei* sp. no: a new poeciliid fish from the upper Rio Conchos system, Chihuahua, Mexico (Teleostei: Cyprinodontiformes: Poeciliidae). Published online at www.vertebrate-zoology.de.

Mitsch WJ, Hernandez ME (2013). Landscape and climate change threats to wetlands of North and Central America. *Aquatic Sciences* 75:133-149.

Montejano G, Becerra L (2009) Caracterización del hábitat acuático asociado al pez *Cyprinodon* nsp Julimes. Universidad Nacional Autónoma de México for World Wildlife Fund. <http://amigosdelpandeno.org/ligas.html>.

Olson DM, Dinerstein E (1998) The Global 200: A representation approach to conserving the earth's most biologically valuable ecoregions. *Conservation Biology* 3:502-515.

Presidencia de la República (2014). Los 'Manantiales Geotermales de Julimes', en Chihuahua, sitio de importancia internacional. México, Presidencia de la República. <http://www.presidencia.gob.mx/articulos-prensa/los-manantiales-geotermales-de-julimes-en-chihuahua-sitio-de-importancia-internacional/>

Rabinowitz D, Cairns S, Dillon T (1986) Seven forms of rarity and their frequency in the flora of the British Isles. In: *Conservation Biology, the Science of Scarcity and Diversity* (editor: Michael E. Soulé). Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, U.S.A. pp.182-204.

Ramos L (2013) Cuatro Ciénegas, al borde del colapso por extracción de agua. La jornada. <http://www.jornada.unam.mx/2013/08/20/estados/028n2est>

Reyes I (2009) Reconocimiento geomorfológico del área de Julimes, Chihuahua, México. Fac. de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua for World Wildlife Fund. <http://amigosdelpandeno.org/ligas.html>.

Rodríguez-Ramírez A & Ballesteros-Barrera C (2009) Estudio paleoambiental del área "El Pandeño", Julimes, Chihuahua. Fac. de Ciencias de la UNAM. <http://amigosdelpandeno.org/ligas.html>.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2010) NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Listado de especies en riesgo. <http://www.dof.gob.mx/documentos/4254/semarnat/semarnat.htm>.

Schotte M. (2000) *Thermosphaeroma mendozai*, a new species from hot springs in northern Chihuahua, Mexico (Crustacea: Isopoda: Sphaeromatidae). *Proceedings of the Biological Society of Washington* 113:989-995.

Tilman D, Fargione J, Wolff B, D'Antonio C, Dobson A, Howarth R, Schindler D, Schlesinger WH, Simberloff D, Swackhamer D (2001) Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science* 292:281-284.

United Nations Convention on Biological Diversity (2000) Sustaining life on earth. <http://www.cbd.int/convention/guide/>.

Vela-Valladares L, De la Maza-Benignos M (2009) Estudio de comportamiento y requerimientos de habitat relacionados al pez cachorrito de julimes *Cyprinodon julimes*. Julimes, Chihuahua. Amigos del Pandeño, A.C.

Vorosmarty CJ, Green P, Salisbury J, Lammers RB (2000) Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. *Science* 289:284-288.

Williams JE, Bowman DB, Brooks JE, Echelle AA, Edwards RJ, Hendrickson DA, Landye JJ (1985) Endangered aquatic ecosystems in North American deserts with a list of vanishing fishes of the region. *Journal of the Arizona-Nevada Academy of Science* 20:1-61.

