



**VII Congreso Nacional de
Riego, Drenaje y Biosistemas**
COMEL 2022 | Teziutlán, Puebla, México

BUAP® | Facultad de Ciencias
Agrícolas y Pecuarias

UNIVERSITY OF
Nebraska
Lincoln®

Pioneering new frontiers.

CONFERENCIA MAGISTRAL

Aplicaciones informáticas para el diagnóstico y pronóstico de la resiliencia agrícola a eventos hidrometeorológicos y climáticos extremos

Francisco Muñoz Arriola, Ph.D.

- ¹Department of Biological Systems Engineering
- ²School of Natural Resources
- ³Robert B Daugherty Water for Food Global Institute
- ⁴Universidade do Sao Paulo (Profesor adjunto)

Fecha de presentación del 23 de Noviembre de 2022

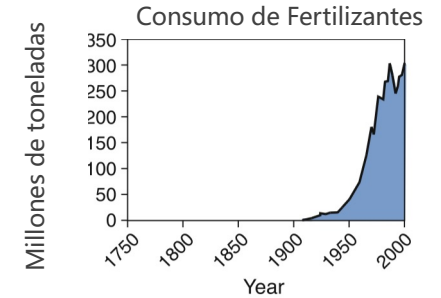
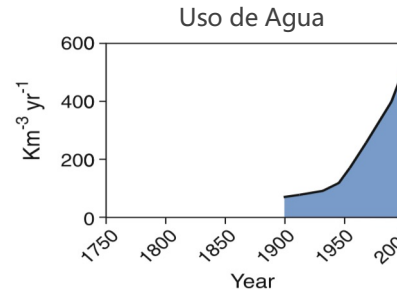
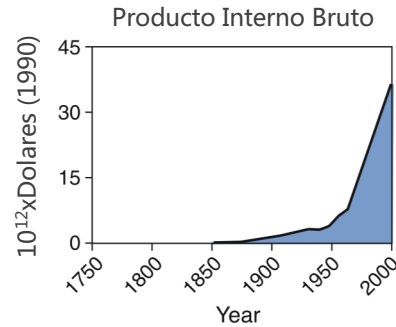
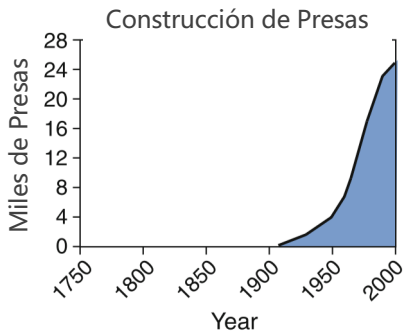
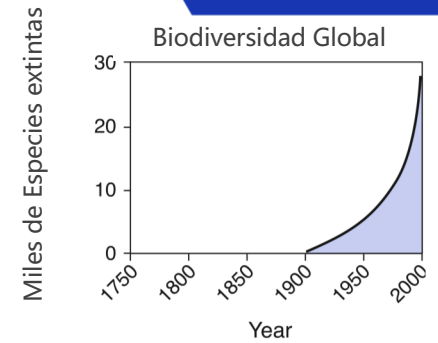
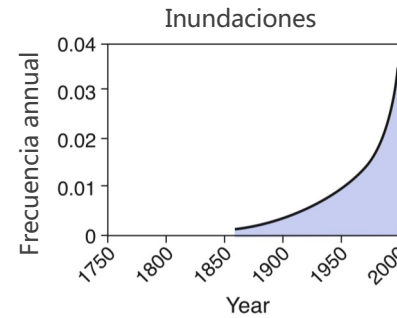
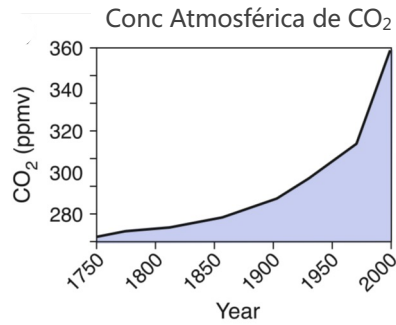
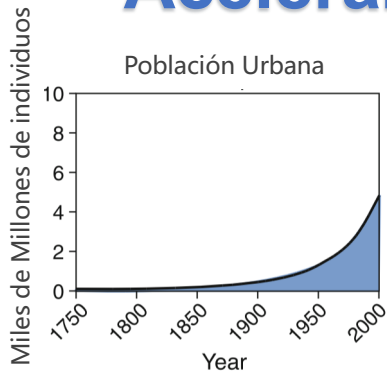




VII Congreso Nacional de Riego, Drenaje y Biosistemas
COMEII 2022 | Teziutlán, Puebla, México

BUAP Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

Aceleramiento de la Industrialización



Steffen et al (2011)



**VII Congreso Nacional de
Riego, Drenaje y Biosistemas**
COMEII 2022 | Teziutlán, Puebla, México

BUAP® | Facultad de Ciencias
Agrícolas y Pecuarias

Motivación

“Uno de los mayores desafíos del siglo XXI ... [es] si los sistemas sociales diseñados por el humano, desde las economías a las ciudades, los cuales han existido en los últimos quinientos años, pueden continuar su coexistencia con el mundo biológico natural del cual emergen y que ha existido por miles de millones de años.”

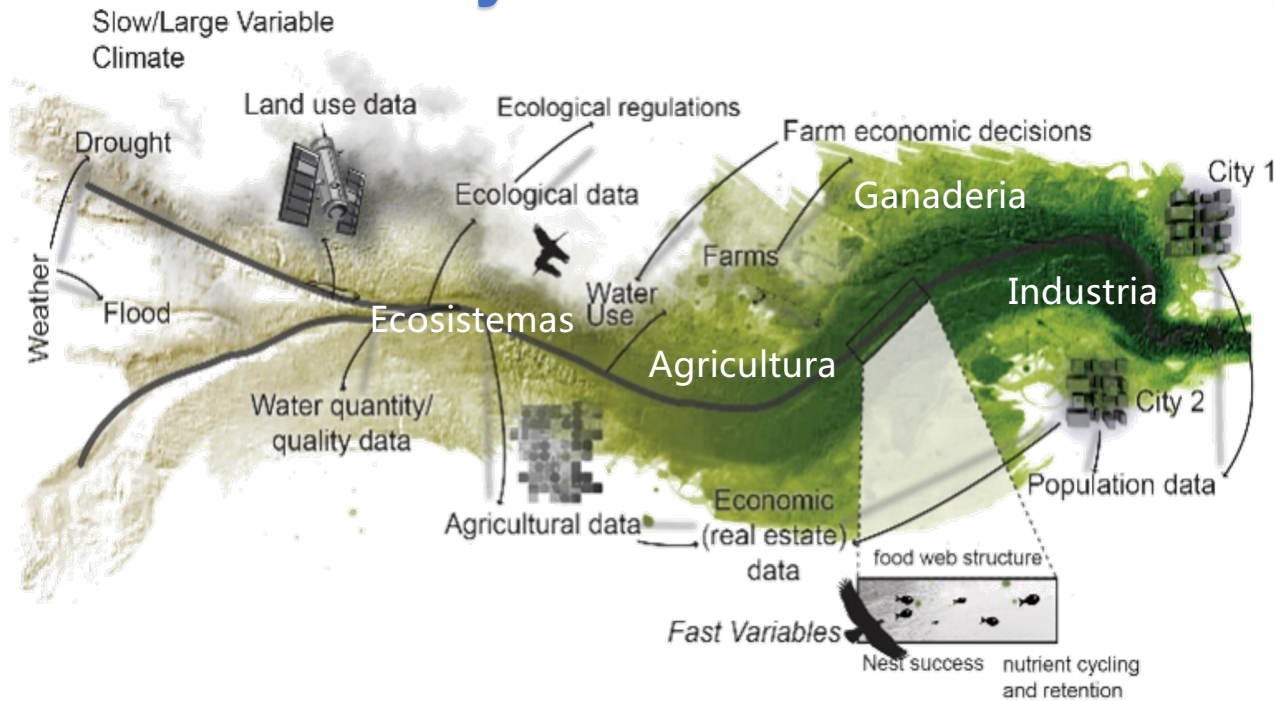
Geoffrey West, *Scale* (2018)



VII Congreso Nacional de Riego, Drenaje y Biosistemas
COMEII 2022 | Teziutlán, Puebla, México

BUAP® | Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

Construyendo un marco conceptual



- Agentes
- Funcionalidades
- Disturbios

- Variables
- Procesos

Sistema socio-ecológico del Ogalala-Platte



**VII Congreso Nacional de
Riego, Drenaje y Biosistemas**
COMEI 2022 | Teziutlán, Puebla, México

BUAP® | Facultad de Ciencias
Agrícolas y Pecuarias

Contenido

Definiciones

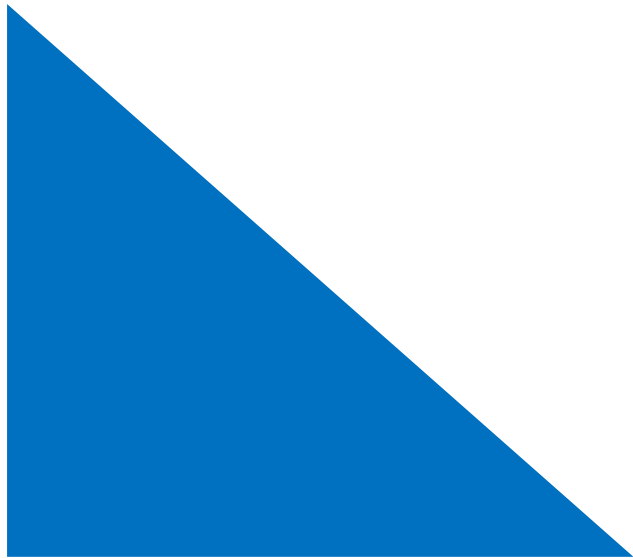
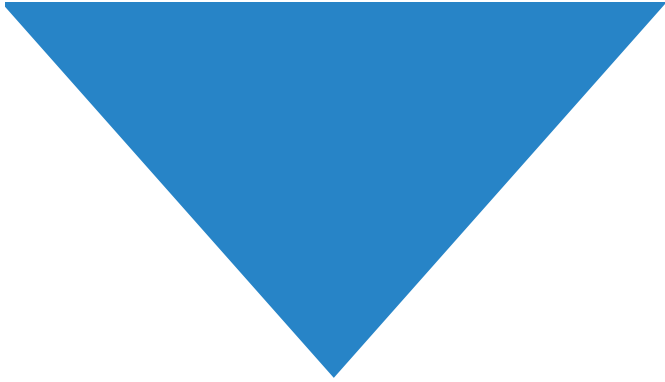
Agua, riego, agricultura, ganadería y ecosistemas en las grandes planicies

Irrigación

Recursos digitales

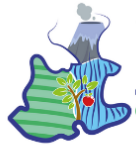
Ciencia y diseño

Marco conceptual



Bases

Resiliencia
Geografía
Producción
Disturbios



VII Congreso Nacional de Riego, Drenaje y Biosistemas
COMEII 2022 | Teziutlán, Puebla, México

BUAP® | Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

Contenido

Sistema complejo (West, 2018)

Sistemas complejos son "... agentes que de forma agregada toman características colectivas que de manera individual no son evidentes, ni se pueden predecir a partir de las propiedades individuales de los mismos."

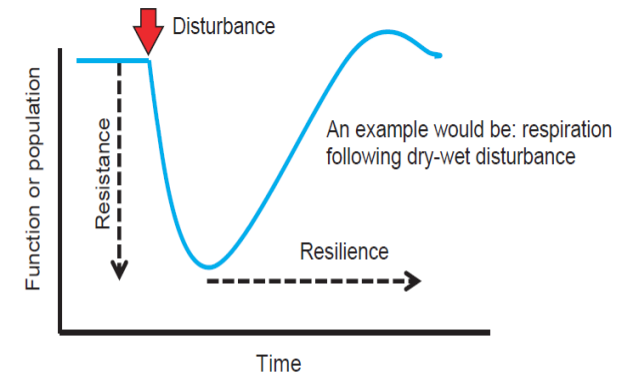
Sistema Socioambiental

Son complejos y capaces de adaptarse para responder a su medio ambiente: Auto organización, enseñanza y razonamiento

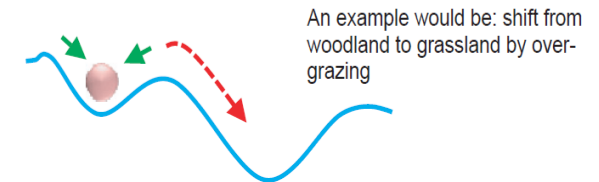
Resiliencia (Holling, 1973 and Gunderson, 2001)

"Es una propiedad de los sistemas complejos que se representa la magnitud del disturbio que puede ser absorbido antes que el sistema redefine su estructura, cambiando las variables y los procesos que controlan su comportamiento"

(a) Engineering resilience



(b) Ecological resilience



West Scale (2018) Griffiths and Philippot, 2013



VII Congreso Nacional de
Riego, Drenaje y Biosistemas
COMEII 2022 | Teziutlán, Puebla, México

BUAP® Facultad de Ciencias
Agrícolas y Pecuarias

Infraestructura hídrica, agrícola y pecuaria

Ingresos Agrícolas

5.8% en EUA (\$21 mil Millones)

- 1st in Producción cárnica
- 3rd in Maíz
- 5th in Soya
- 5th in Exportaciones Agrícolas
- Entre 5 primeros en producción de etanol

Ecosistema de pastizal y albergue de especies protegidas

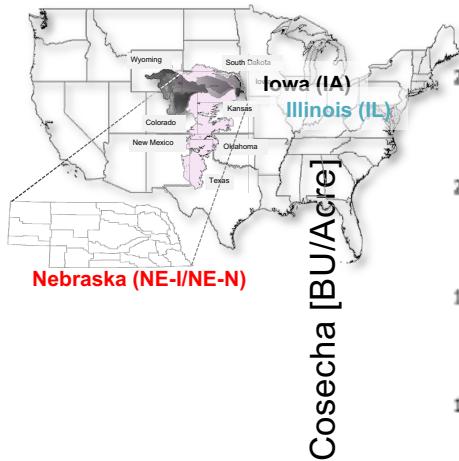




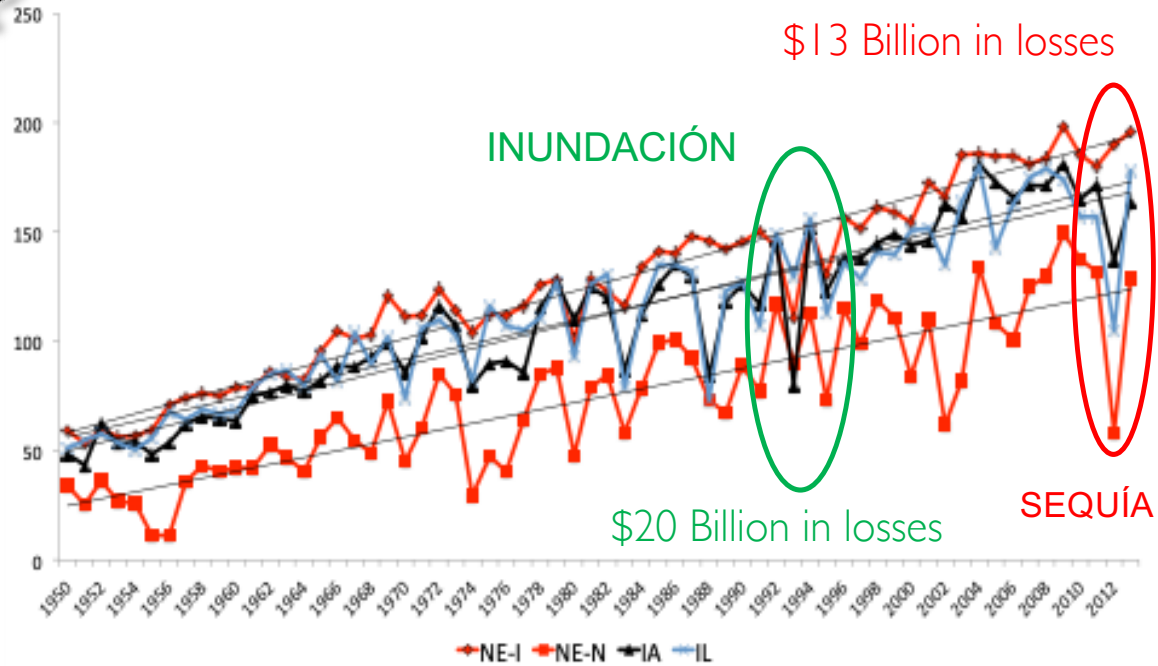
VII Congreso Nacional de Riego, Drenaje y Biosistemas
COMEI 2022 | Teziutlán, Puebla, México

BUAP® Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

Irrigación como un sistema socio-ecológico complejo



Cosecha [BU/Acre]





VII Congreso Nacional de Riego, Drenaje y Biosistemas
COMEII 2022 | Teziutlán, Puebla, México

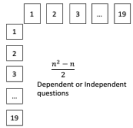
BUAP® Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

Premisas

1 2 3 ... 19

n= number of questions

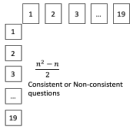
χ² test



$$\frac{n^2 - n}{2}$$

Dependent or Independent questions

Cronbach's alpha (α)



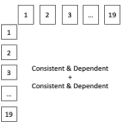
$$\frac{n^2 - n}{2}$$

Consistent or Non-consistent questions

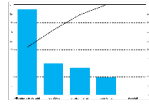
Kruskal-Wallis test



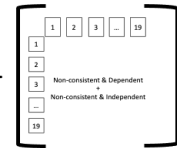
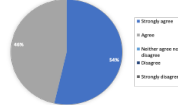
Pareto Charts



Groups of questions with consistent attributions



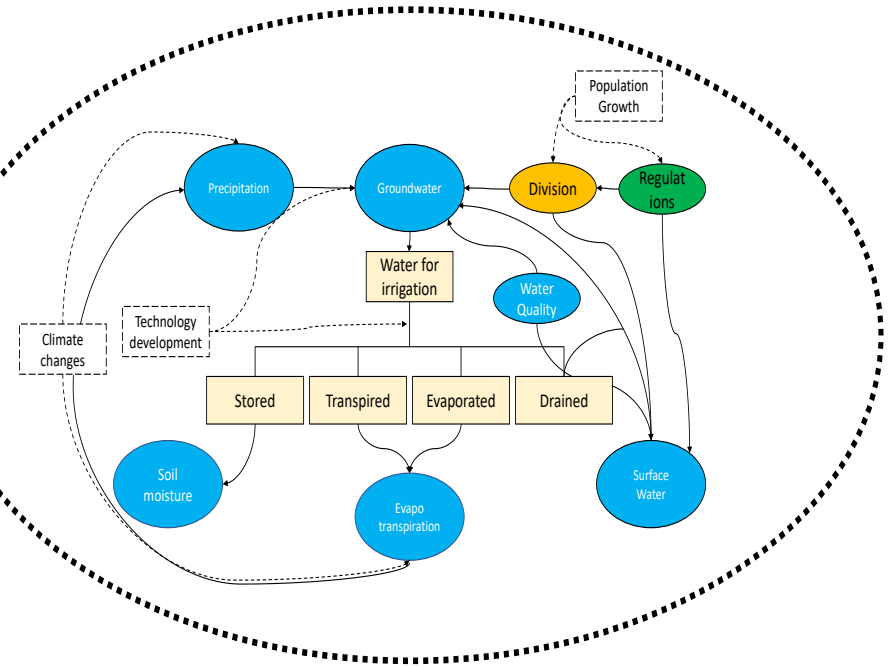
Questions for collective attributions



COLLECTIVE FRAMEWORK

Alves y Munoz-Arriola (desarrollo)

Marco conceptual



Conceptualización Colectiva



**VII Congreso Nacional de
Riego, Drenaje y Biosistemas**
COMEI 2022 | Teziutlán, Puebla, México

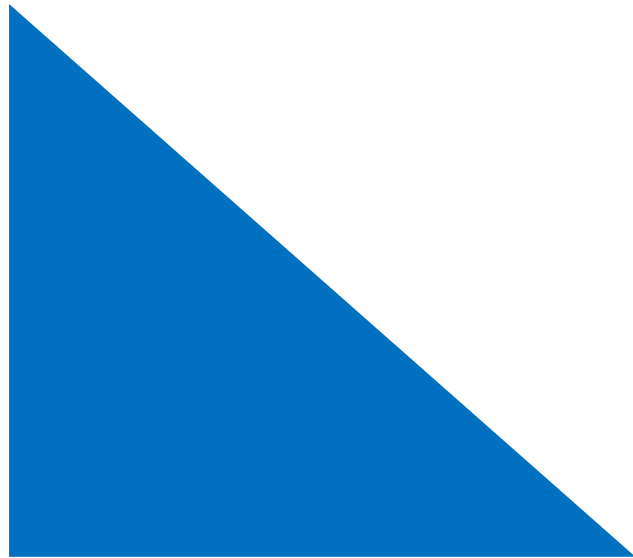
BUAP® | Facultad de Ciencias
Agrícolas y Pecuarias

Tesis

La predicción de la resiliencia de la infraestructura hídrica al clima requiere una infraestructura digital sólida que se diseñen y operen colectivamente

Premisas

- La combinación, secuencia, pausa, y magnitud de los desastres requieren marcos conceptuales dinámicos e inclusivos, como se evidencia en la inundación del 2019 en Nebraska.
- Las propiedades de los sistemas socio-ecológicos pueden ser asimilados por las parametrizaciones de modelos hidrológicos de superficie, permitiendo la simulación de la resiliencia hidrológica en el Rio Platte en el Norte de la región de las Grandes Planicies
- Los esfuerzos de adaptabilidad pueden estar restringidos por el paradigma actual de gobernanza y prácticas de manejo; sin embargo, las técnicas de Inteligencia Artificial pueden estimular la innovación en gobernanza y la predicción de la resiliencia de los acuíferos
- Los marcos conceptuales creados para fortalecer la resiliencia y mejorar su predictibilidad atraerán la innovación



Recursos

Datos y modelos

Resiliencia hidrológica

Gobernanza

Teorías

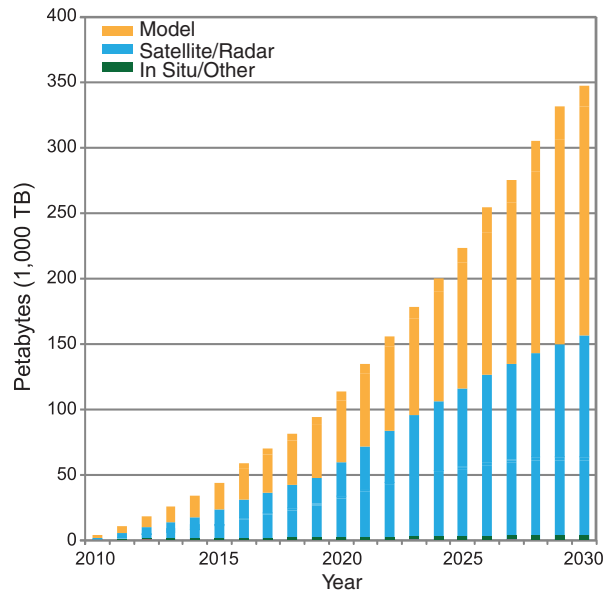


VII Congreso Nacional de Riego, Drenaje y Biosistemas
COMEII 2022 | Teziutlán, Puebla, México

BUAP Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

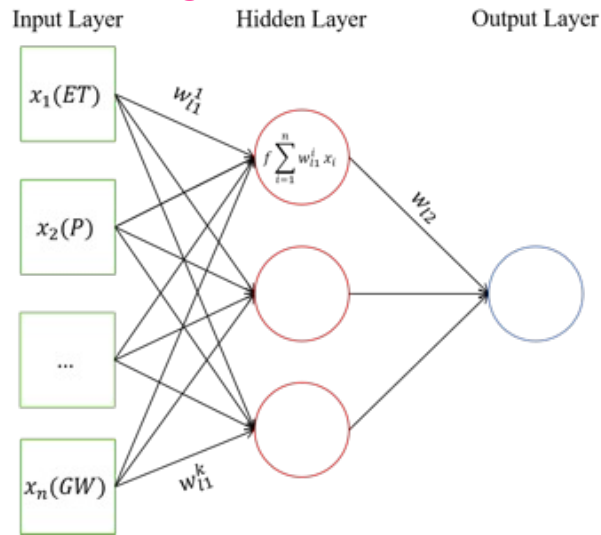
Recursos digitales

Datos



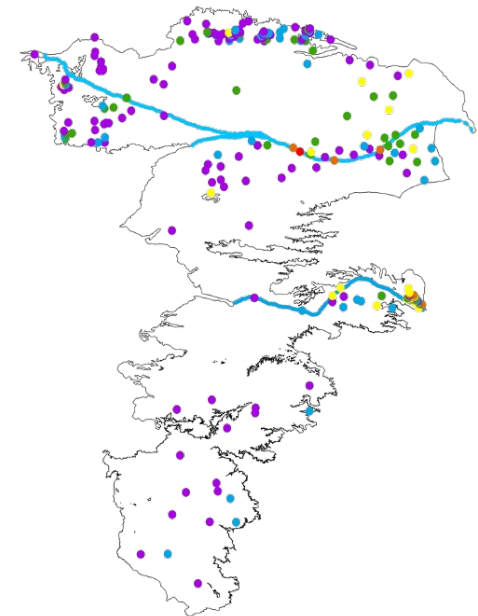
Overpeck et al Science (2011)

Inteligencia Artificial



Amaranto et al | Hydroinformatics (2019)

Análisis Geospaciales



NSE ● 0.0-0.4 ● 0.4-0.6 ● 0.6-0.8 ● 0.8-0.9 ● 0.9-0.95 ● 0.95-1.0

Amaranto et al WRR (2019)



VII Congreso Nacional de Riego, Drenaje y Biosistemas
COMEII 2022 | Teziutlán, Puebla, México

BUAP Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

Diagnóstico y predicción de eventos compuestos y en cascada

Lluvia + Temperatura + Derretimiento de Nieve
 PR ≤ 10 años 78% PR > 100 años 4-44 veces más alta
 del área de la cuenca 3 celdas

Antes

Durante

Después



Nevada extrema

Lluvia calida

Inundación

Cantidad de agua

Cantidad de agua

Calidad de agua

Servicios Eco sistémicos

Erosión

Predictibilidad Estándares

Baja No

+

Media No

=

Baja No

Resiliencia Estándares

?

Complejidad del Sistema
 Complejidad de las fronteras

Perdidas por \$1,000 Billones

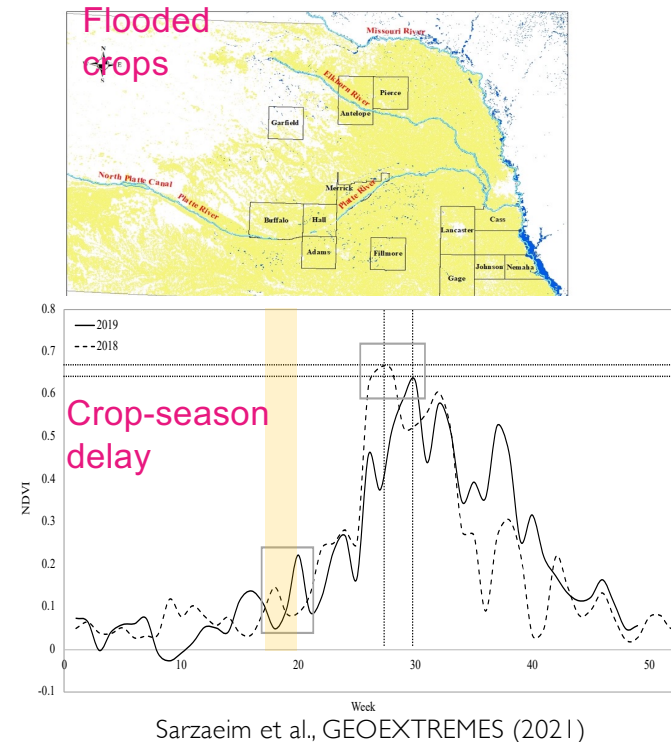
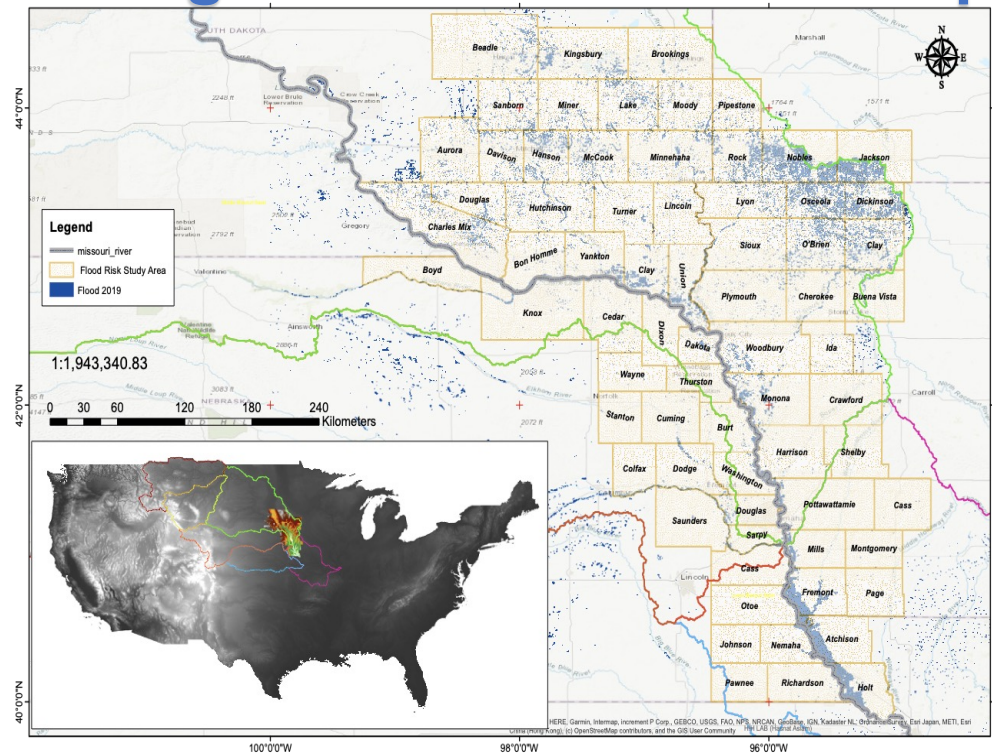
Munoz-Arriola et al., (in preparation)



VII Congreso Nacional de Riego, Drenaje y Biosistemas
 COMEII 2022 | Teziutlán, Puebla, México

BUAP Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

Riesgo de inundaciones tempranas en la agricultura

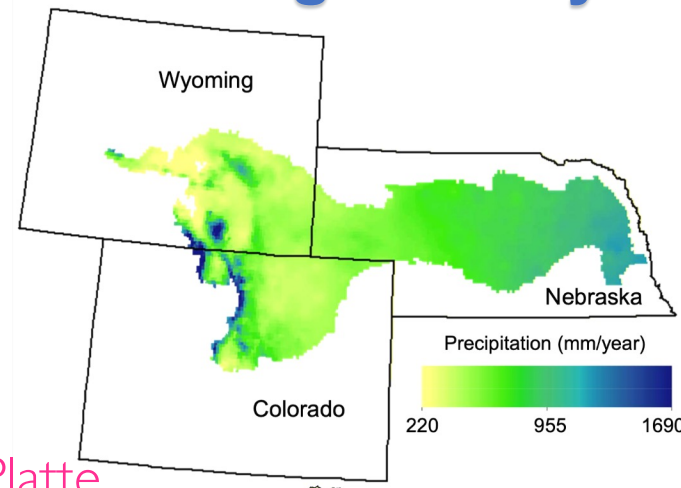
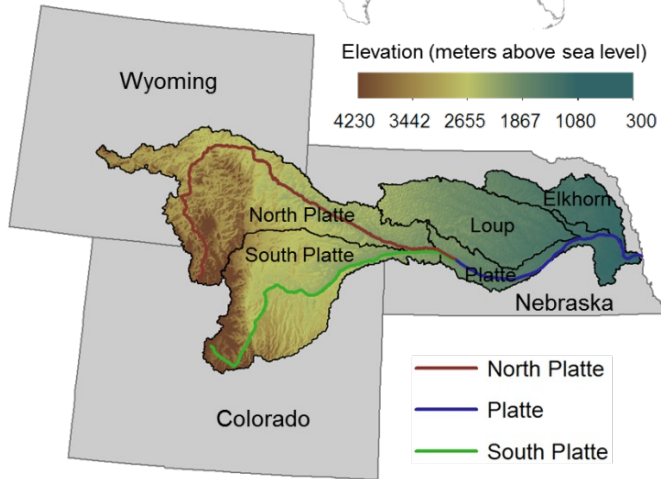




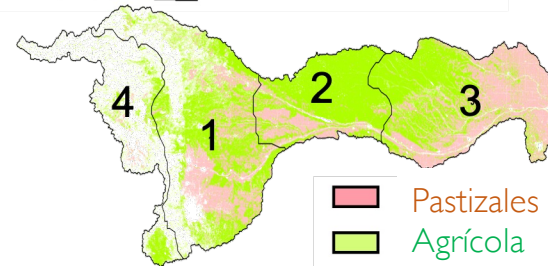
VII Congreso Nacional de Riego, Drenaje y Biosistemas
COMEII 2022 | Teziutlán, Puebla, México

BUAP® Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

Resiliencia hidrológica en zonas agrícolas y de pastizales



Rio Platte





VII Congreso Nacional de Riego, Drenaje y Biosistemas
COMEII 2022 | Teziutlán, Puebla, México

BUAP® Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

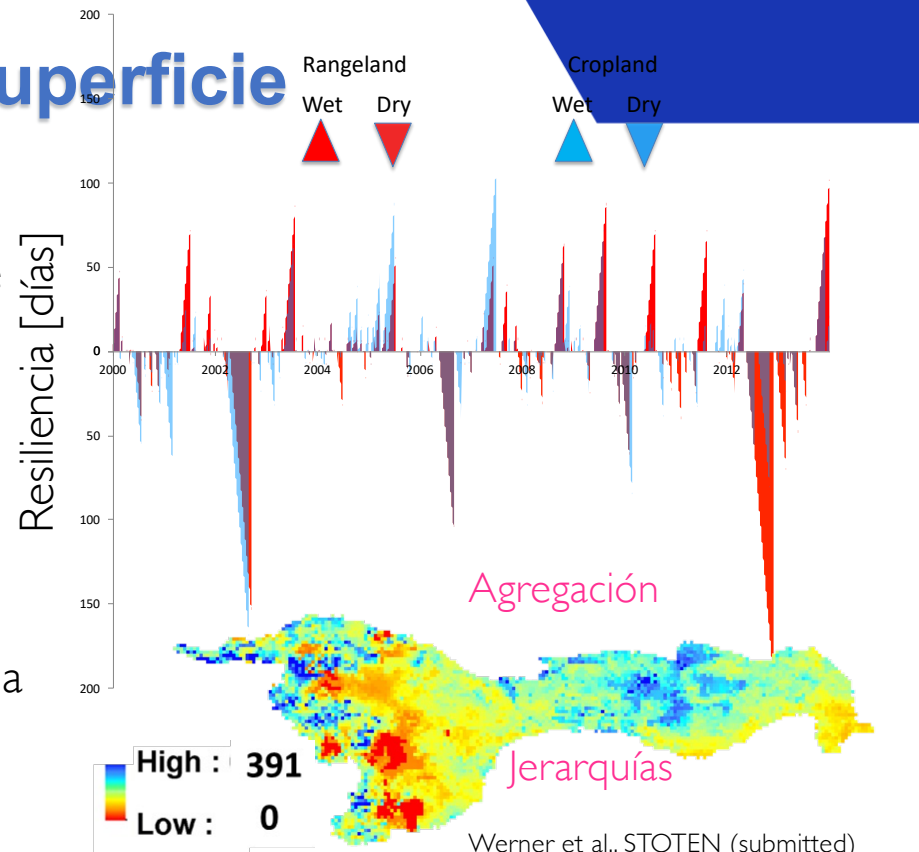
Resiliencia hidrológica de superficie

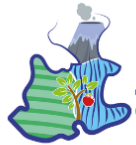
Cuencas hidrológicamente resilientes son sistemas complejos adaptivos con funcionalidades y servicios medidos a través de variable biofísicas e hidrológicas.

- Biodiversidad
- **Agregación** (de un punto a la cuenca)
- **Jerarquía** (Gobernanza)
- Non-linealidad (Procesos y respuestas)

¿Quién se beneficia del manejo de recursos en la gran escala?

Adaptado de Levin *Ecosystems* (1998)





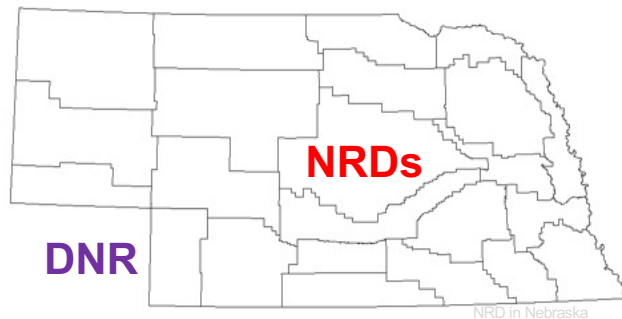
VII Congreso Nacional de
Riego, Drenaje y Biosistemas
COMEII 2022 | Teziutlán, Puebla, México

BUAP® Facultad de Ciencias
Agrícolas y Pecuarias

Gobernanza

Department of Natural Resources
Manejo de aguas superficiales y conjunto

- Uso conjuntivo de las aguas superficiales y subterráneas
 - Evaluación anual de la cuenca
 - Monitoreo y registro de pozos
 - Sub, sobre y apropiación hídrica para áreas irrigadas



Natural Resources Districts
Distritos de manejo de aguas
subterráneas (23)

- Estructura administrativa:
 - Gobernados por juntas elegidas
 - Financiamiento proveniente de los impuestos
- Responsabilidades Administrativas:
 - Redistribución de aguas subterráneas y moratorias para la perforación de pozos
 - Colección de reportes de uso de agua
 - Restricción de la expansión de áreas de irrigación
 - Permisos e inspecciones para la fumigación



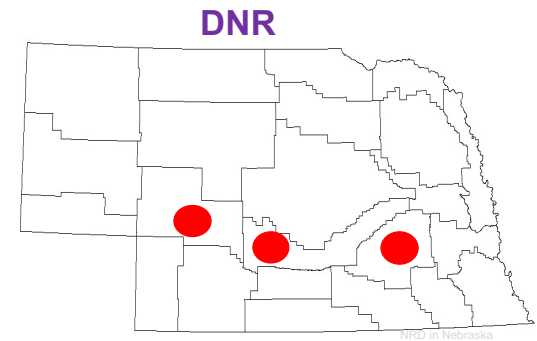
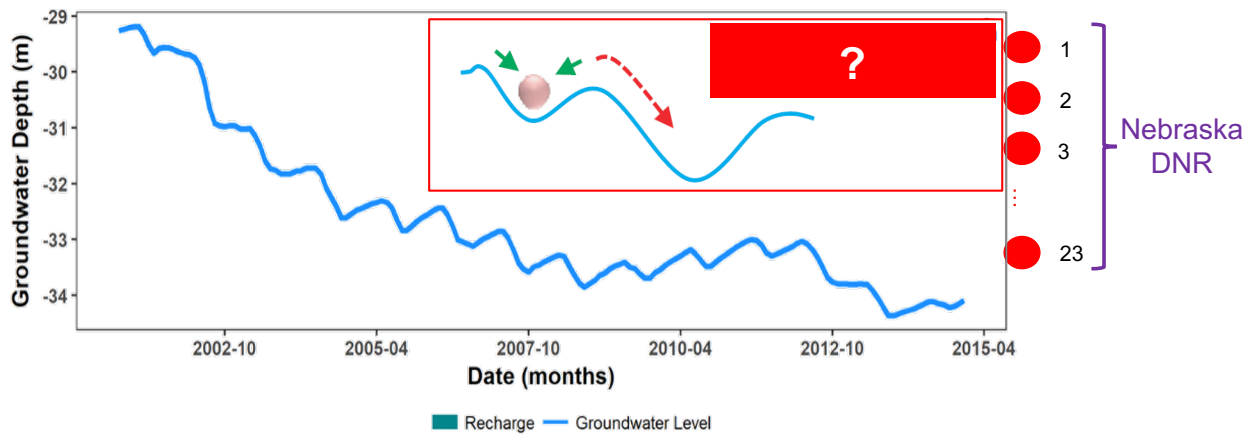
VII Congreso Nacional de Riego, Drenaje y Biosistemas
COMEI 2022 | Teziutlán, Puebla, México

BUAP® Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

Teorías

... la tendencia de usuarios individuales de explotar los recursos naturales y contribuir a la tragedia de los comunes

Manejar el uso conjunto del agua superficial y subterránea como un pool común





Predicción de la resiliencia

El sistema Ogalala-Platte

Conclusiones

Trabajo futuro



VII Congreso Nacional de Riego, Drenaje y Biosistemas
COMEII 2022 | Teziutlán, Puebla, México

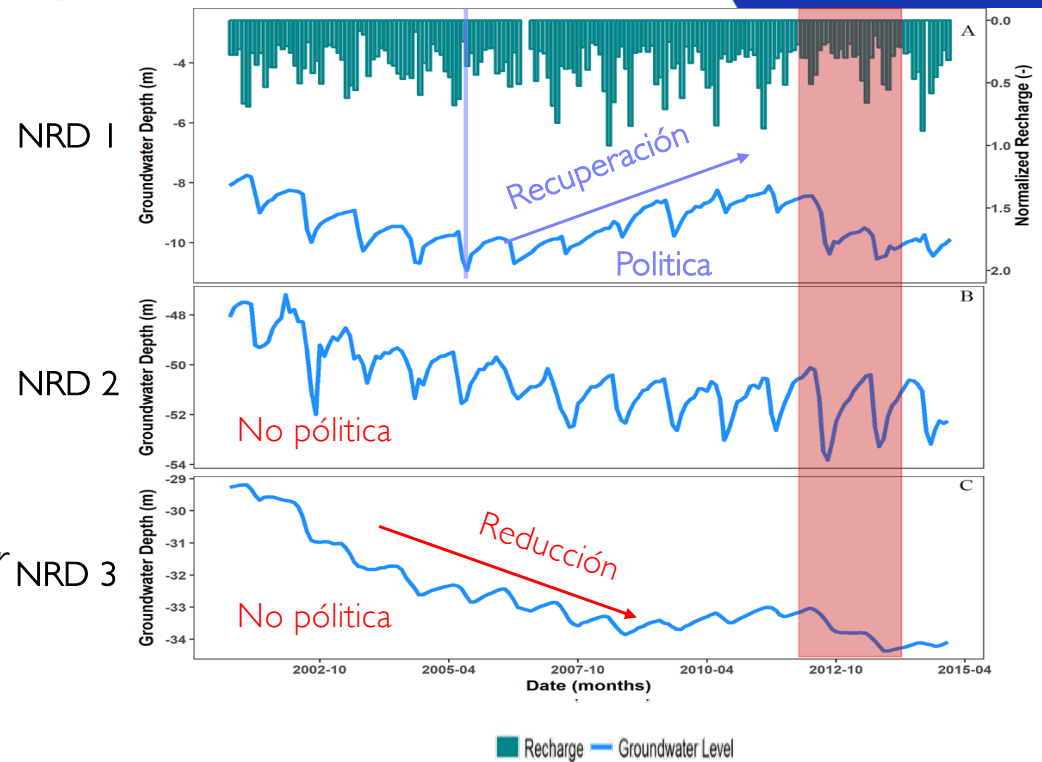
BUAP | Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

Avanzando teorías y aplicaciones

2012 Sequía "Flash"

Neb. Rev. Stat.
§46-701 et seq.

- Podemos **predecir las contribuciones individuales** al manejo del almacén colectivo de recursos?
- Podemos **predecir como revertir la tendencia de los usuarios individuales** de explotar los recursos naturales y contribuir a evitar la tragedia de los comunes?



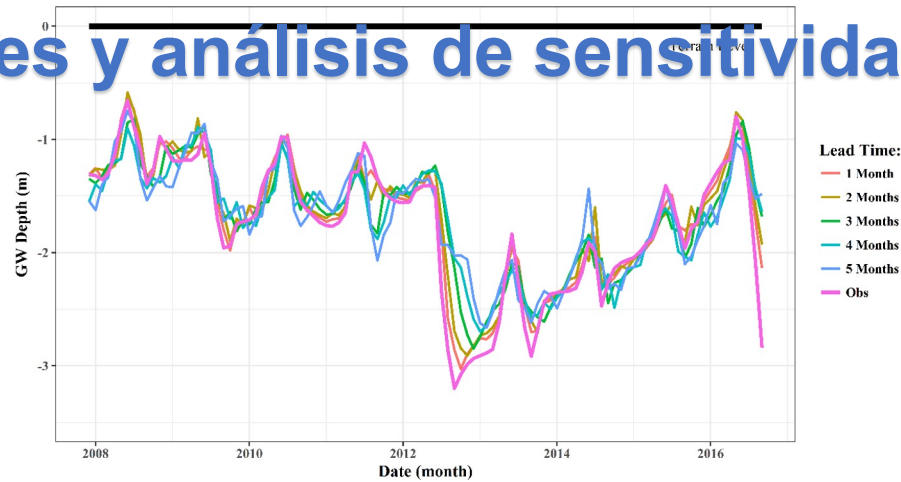
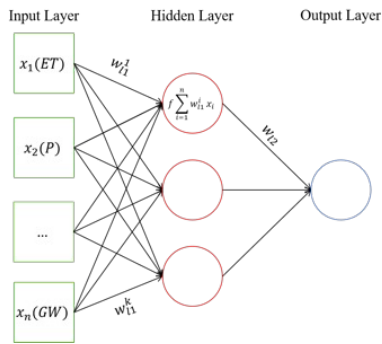


VII Congreso Nacional de Riego, Drenaje y Biosistemas
 COMEII 2022 | Teziutlán, Puebla, México

BUAP® Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

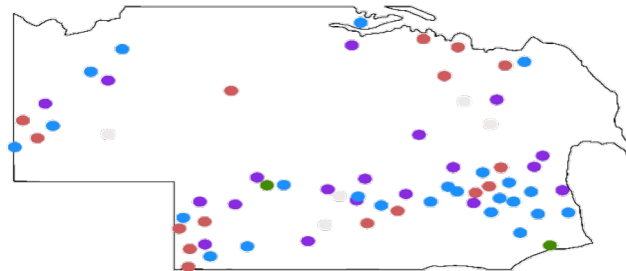
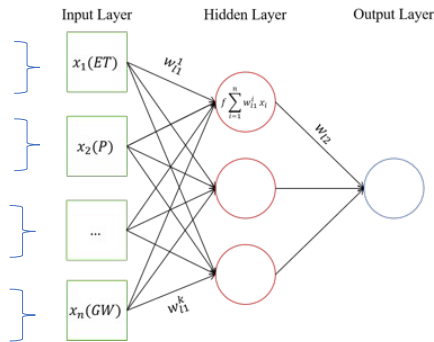
Redes neuronales y análisis de sensibilidad

ANN



Lead Time:
 1 Month
 2 Months
 3 Months
 4 Months
 5 Months
 Obs

GSA-ANN



Legend: ● ET ● Flow ● H ● Rain ● Snow

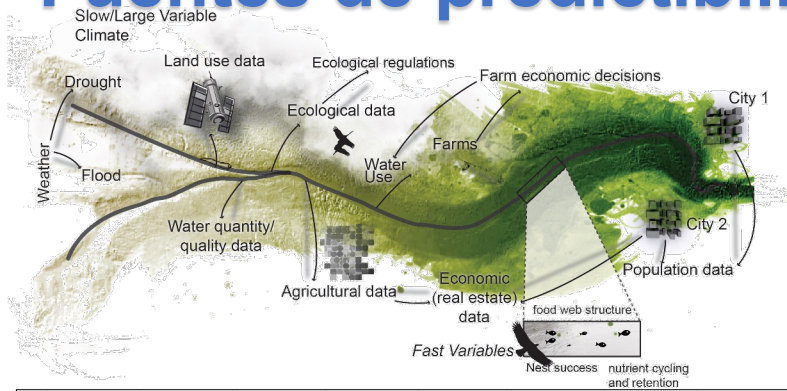
Amaranto et al., *J. Hydrol* (2018 & 2020)



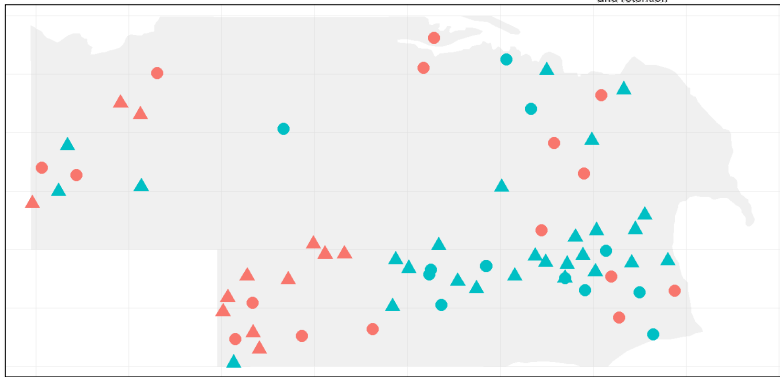
VII Congreso Nacional de Riego, Drenaje y Biosistemas
COMEII 2022 | Teziutlán, Puebla, México

BUAP® Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

Fuentes de predictibilidad

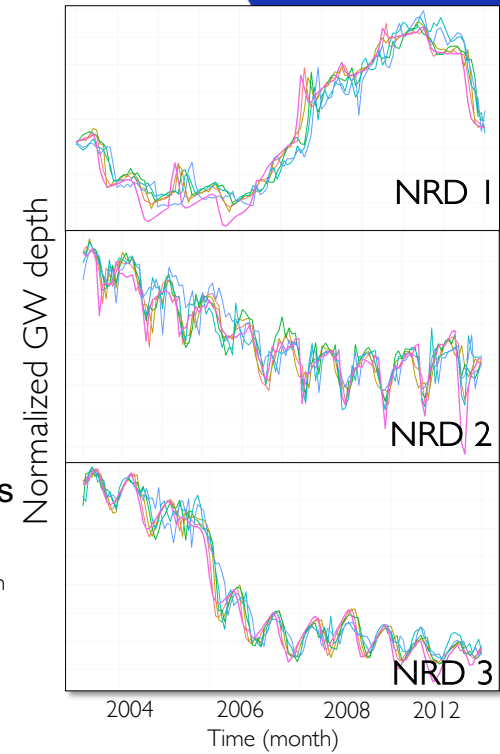


- Lead Time = 1 Months
- Lead Time = 2 Months
- Lead Time = 3 Months
- Lead Time = 4 Months
- Lead Time = 5 Months
- Obs



Análisis de tendencias

- Non-significant recovery
- Non-Significant depletion
- ▲ Significant recovery
- ▲ Significant depletion



Munoz-Arriola et al., (en revisión)

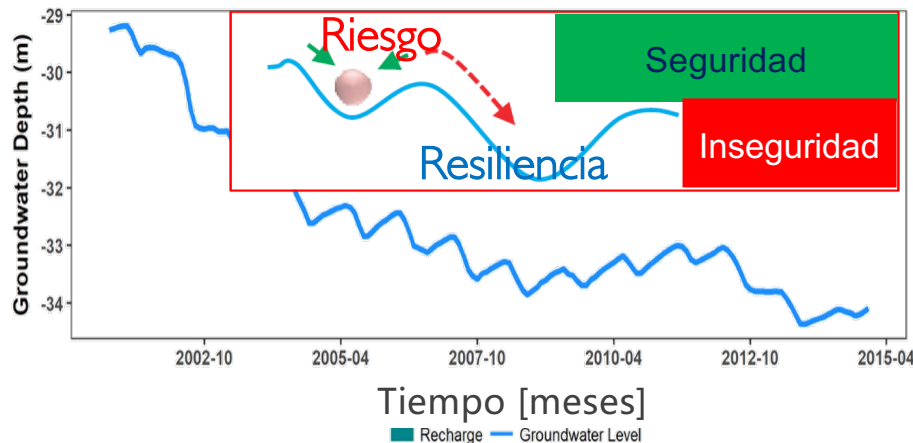


VII Congreso Nacional de Riego, Drenaje y Biosistemas
COMI 2022 | Teziutlán, Puebla, México

BUAP® Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

Apoyo a la tesis

La predicción de la resiliencia de la infraestructura hídrica al clima requiere una infraestructura digital sólida que se diseñen y operen colectivamente



- La resiliencia hidrológica basada en el Índice Área Foliar fue de 80 días para periodos húmedos y hasta 180 días para sequías en el Rio Platte
- No hay cambios significativos en la cosecha de maíz cuando las inundaciones previas a la fecha de siembra
- Efecto de la gobernancia de aguas superficiales y subterráneas integradas (~7 años) es equivalente a los efectos de una sequía “flash” como la del 2012 en los acuíferos del norte del Ogallala

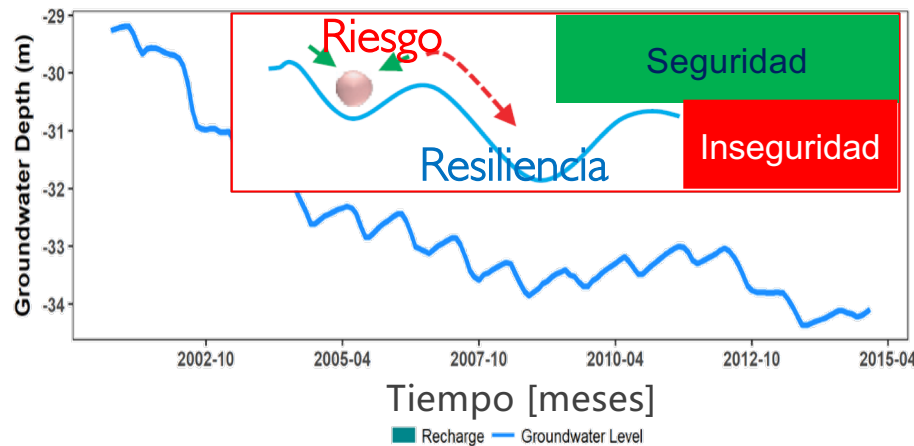


VII Congreso Nacional de Riego, Drenaje y Biosistemas
COMEII 2022 | Teziutlán, Puebla, México

BUAP® Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

Trabajo futuro

Colectar, identificar y provechar los datos que capturan las complejidades de los procesos socio-ecológicos, incluyendo las experiencias individuales y colectivas de los usuarios y las funciones ecológicas



- Marcos conceptuales que integren a los eventos extremos compuestos y en cascada con modelos de cosecha pueden asegurar la producción
- Simulaciones hidrológicas y sensoria remota evidencian la capacidad adaptative de las cuencas
- Las complejidades socio-ecológicas pueden ser simuladas por modelos de Inteligencia Artificial

UNIVERSITY OF
Nebraska
Lincoln®

Pioneering new frontiers.



**VII Congreso Nacional de
Riego, Drenaje y Biosistemas**
COMEI 2022 | Teziutlán, Puebla, México

BUAP® | Facultad de Ciencias
Agrícolas y Pecuarias



GRACIAS!!

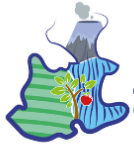
Francisco Muñoz Arriola

Department of Biological Systems Engineering y
School of Natural Resources

University of Nebraska-Lincoln

✉ fmunoz@unl.edu





**VII Congreso Nacional de
Riego, Drenaje y Biosistemas**
COMEI 2022 | Teziutlán, Puebla, México

BUAP® | Facultad de Ciencias
Agrícolas y Pecuarias

Premisas

- El efecto colectivo de l manejo y la gobernanza del recurso hídrico puede llevar a la mejora del Sistema
- La agregación de fenómenos no siempre lleva al incremento al resultado esperado