O3T – 3 juillet 2025

Approche pluridisciplinaire de la gestion des ressources en eau entre analyses spatiales et sociales

Exemple dans le nord du Mexique à partir d'images satellites, ZADA, diagnostics agraires, enquêtes sociales (ECOS NORD M22HA01 - VAMOSAQUEDAR Labex SMS)

Alexandra Angéliaume-Descamps GEODE, Perline Lafoux Daude GEODE, Mehdi Saqalli GEODE, Hugo Rojas UAJC, Luis Carlos Bravo UAJC, Victor Salas,UAJC, Victor Reyes INECOL.

Un travail de recherche à la croisée de deux projets

Avec appuis financiers de la MUFRAMEX et GEODE

Approche pluridisciplinaire pour la gestion des ressources en eau dans le nord Mexique

Usages des images satellites et drones multispectrales et des enquêtes sociales pour l'analyse de la fonctionnalité et de la qualité de zones humides (lagune, barrage, étang) et l'identification de leviers d'actions dans une perspective d'aide à la gestion des ressources en eau dans un contexte de changement global et d'altération qualitative et quantitative

Action M22HA01
2024-2026

Vulnérabilités en Amérique latine : Modélisation sur base d'Observations Sociospatiales et Anthropo-économiques en QUêtes des Dynamiques, Aléas et Résiliences locales)

VAMOSAQUEDAR
2022-26

Contexte de recherche
Une vulnérabilité hydrique construite et exacerbée par les CC

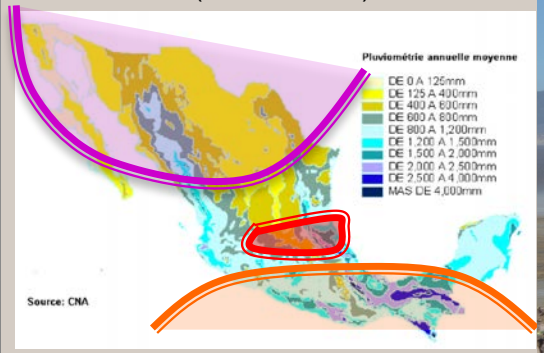
Laguna de Bustillos, juin 2012

https://www.eluniversal.com.mx/estados/chihuahua-alarma-muerte-de-peces-en-la-laguna-de-bustillos/
Juin 2024

N
➢
300 km²
e

➢ Abondance de 2nd ordre :
le « Miracle » de l'irrigation
Ou
la « Culture hydroagricole »
du Mexique

(Turton et Ohlsson, 1999)
(Kauffer, 2006)



Abondance de 1er ordre et pénurie de 2nd ordre
Rareté de 1er ordre et abondance de 2nd ordre
Abondance induite structurellement à pauvreté hydrique

Bustillos, janvier 2024

Cuenca de Bustillos, Image Sentinelle 2 mars 2023, Traitement QGIS

PIB
RN
tière
750 000 l. lait/ jour

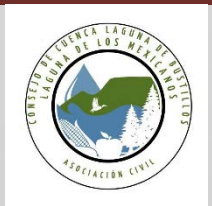
➢ Taux rentabilité cultures fruitières 5,32 et maïsicoles 2,3 (1,26 maïs criollo en temporal
8 % 5 400 mi de m³ des lèvements d'eau
3 % eau superficielle et
7 % en eau souterraine
67 puits profonds
,8 mi de m³/an déficit aquifère
uifère classé *Zona de Veda* la CONAGUA
croissement indice SPI andardized Precipitation Index
urée et importance des cheresses)
, 2008)
a, 2022)
ómez et al, 2018)
(Daniel Villazón-Bustillos et al (2016))

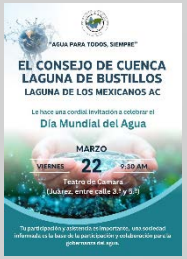
Contexte de recherche

Emergence d'une « crise de l'eau » : recherche de réponse entre recherche et participation

CCLB, 2023

CCLB, 2024





Mesa del agua en Cuauhtémoc

OPSE Cuauhtémoc RED RIZA Mexico

Creación del CCLByM

1979-2012 | **2016** | **2018** | **2019** | **2020** | **2022** | **2023**

Estudios abastimiento acuífero

Foro Regional del Agua

Foro Salvamos nuestro acuífero

Proyecto de manejo y restauración de la cuenca

Foro Internacional del Agua y Medio Ambiente

Objectifs de recherche ECOS NORD Action M22HA01

Objectif principal : ***Tester des méthodes de diagnostic****, satellitales et sociales, relatives au bon fonctionnement des sociohydrosystèmes dans le but de* ***soutenir la gestion des ressources en eau dans le nord Mexique***

Sous objectifs :

1. **Tester des méthodes en vue d'établir des diagnostics et expertises des territoires ciblés (imagerie drone, suivi hydro-écologique, analyse sociale des pratiques et politiques territoriales, ZADA zonage à dire d'acteurs, etc)**
2. **Construire un projet pluridisciplinaire en faisant appels à des compétences variées**
3. **Construire un partenariat chercheurs/acteurs français/mexicains en vue d'un appui technique, une planification de service, un accompagnement, en vue de produire des solutions concrètes, multifonctionnelles, durables et accessibles aux décideurs**

   3.1. Apporter des appuis au Programme de la durabilité hydro-agricole par l'Agriculture 5.0 mis en oeuvre dans des zones pilotes du Mexique

   3.2. Co-définir de manière participative une stratégie socio-écologique de gestion globale du système de bassin versant, reproductible dans d'autres sites en lien avec la mise en place d'observatoires participatifs (Réseau Riza Red Internacional para la Sostenibilidad de las Zonas Áridas)

   3.3. Proposer une organisation participative de plan de gestion émergeant de la communauté en alliance avec d'autres acteurs (gouvernement, universités, ONG, Ac et autres) permettant la co-génération de schémas de gouvernance locale

Méthodologie : Approche pluridisciplinaire et multi-partenaires

ONG
DUMAC
PRONATURA

Imagerie spatiale
drone et satellite
Analyses d'eau
Suivis environnementaux

INECOL (Institut d'Ecologie) Chihuahua
CIMAV Centro de Investigaciones en materiales avanzado Chihuahua
Geoinformática, Dpto. de Arquitectura Unidad Multidisciplinaria de la UACJ Cuauhtémoc, Chih

Suivi de la dynamique paysagère hydrologique et approche qualitative de la lagune endoréique

Suivi de la dynamique d'occupation agricole du sol et de l'évolution des paysages agricoles

Suivi de la biodiversité (avifaune, activité halieutique)

Entretiens semi-directifs

GEODE
UAJC División Multidisciplinaria

Perception de l'évolution de la ressource en eau, des risques de pénuries, compréhension pratiques et des politiques publiques

Spatialisation de la perception des enjeux, des vulnérabilités, des ressources, etc. au sein des unités familiales, auprès des acteurs publics et parapublics

ZADA

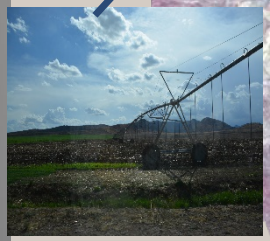
GEODE

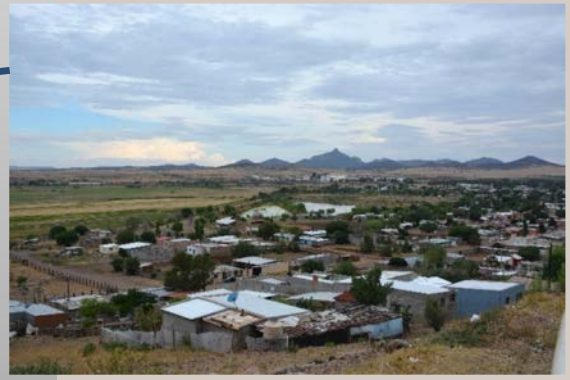
Identification des vulnérabilités au sein des exploitations agricoles, analyses des pratiques et des potentialités d'adaptation et/ou résilience

Diagnostics agraires

GEODE
UAJC División Multidisciplinaria

1. Lecture des paysages hydroagricoles actuels au regard de la trajectoire géohistorique



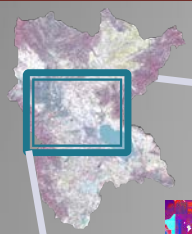


0 15 km 30 km

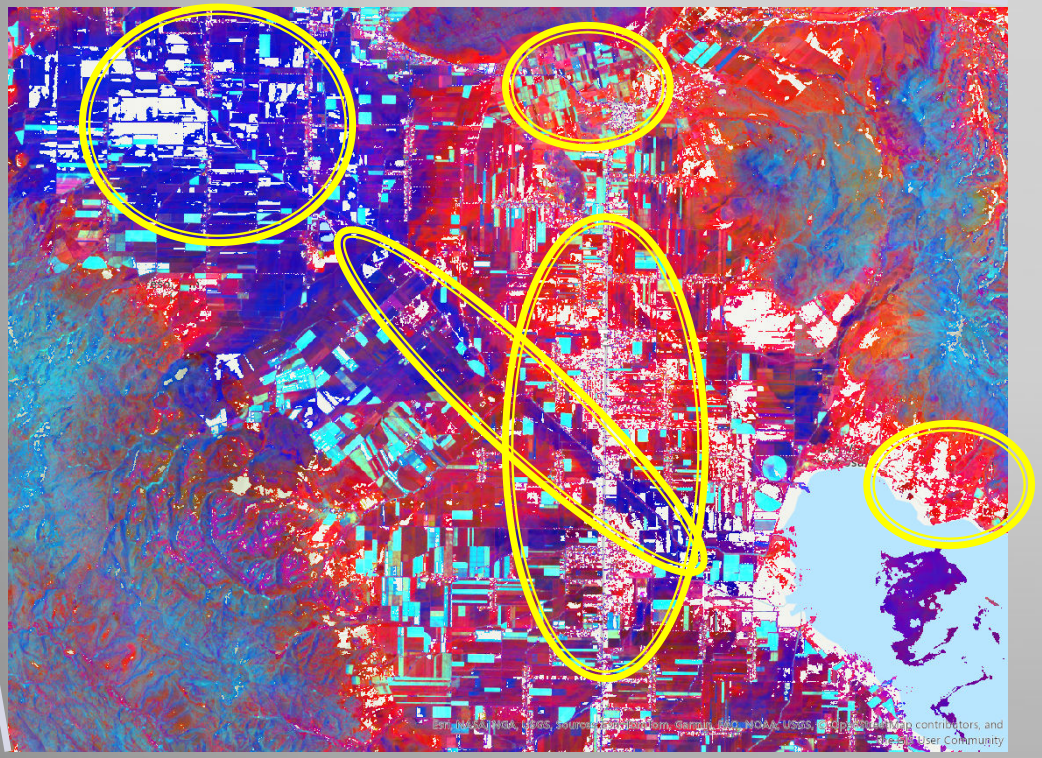
Photos des diverses exploitations, mennonites, ejidatariales, privées (photos auteurs, mission terrain juin 2022)

Diversité des paysages hydroagricoles et propriété de la terre

Quelles origines ? Quelles incidences ? Quelles perspectives ?



Tasseled Cap



Satellite Landsat 8 6/05/2025

- **Rojo Intenso:** Zonas muy brillantes, como suelo desnudo, áreas urbanas densas o roca expuesta.
- **Verde Intenso:** Vegetación muy densa y saludable (bosques, cultivos en pico de crecimiento).
- **Azul Intenso:** Zonas con alta humedad, como cuerpos de agua, suelos saturados, o vegetación con alto contenido de agua.
- **Negro/Colores Oscuros:** Zonas con bajos valores en los tres componentes, típicamente aguas profundas y limpias.
- **Blanco/Tonos Pálidos:** Áreas con altos valores en los tres componentes, como nubes o ciertos tipos de cultivos muy reflectantes y húmedos.
- **Cian (Verde + Azul):** Vegetación húmeda.
- **Amarillo (Rojo + Verde):** Vegetación en suelo brillante.
- **Magenta (Rojo + Azul):** Suelo desnudo húmedo o zonas urbanas con características de humedad.

La transformation Tasseled Cap (Kauth-Thomas)

- **analyser et apparier les modifications liées au développement urbain, l'artificialisation du territoire et à la phénoménologie de la végétation (fonction du cycle de vie des cultures)**

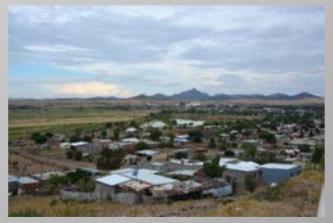
- **méthode analytique de détection et de comparaison des modifications associées à la végétation, au sol et autres fonctions résultant d'une intervention humaine, sur des périodes courtes comme longues**

La cuenca de la Laguna de Bustillos :
De l'Hacienda de Bustillos aux Campos Mennonites

Diversité de modèles paysagers et (hydro)agricoles,
« fruit social de la Révolution mexicaine »

Dates clés

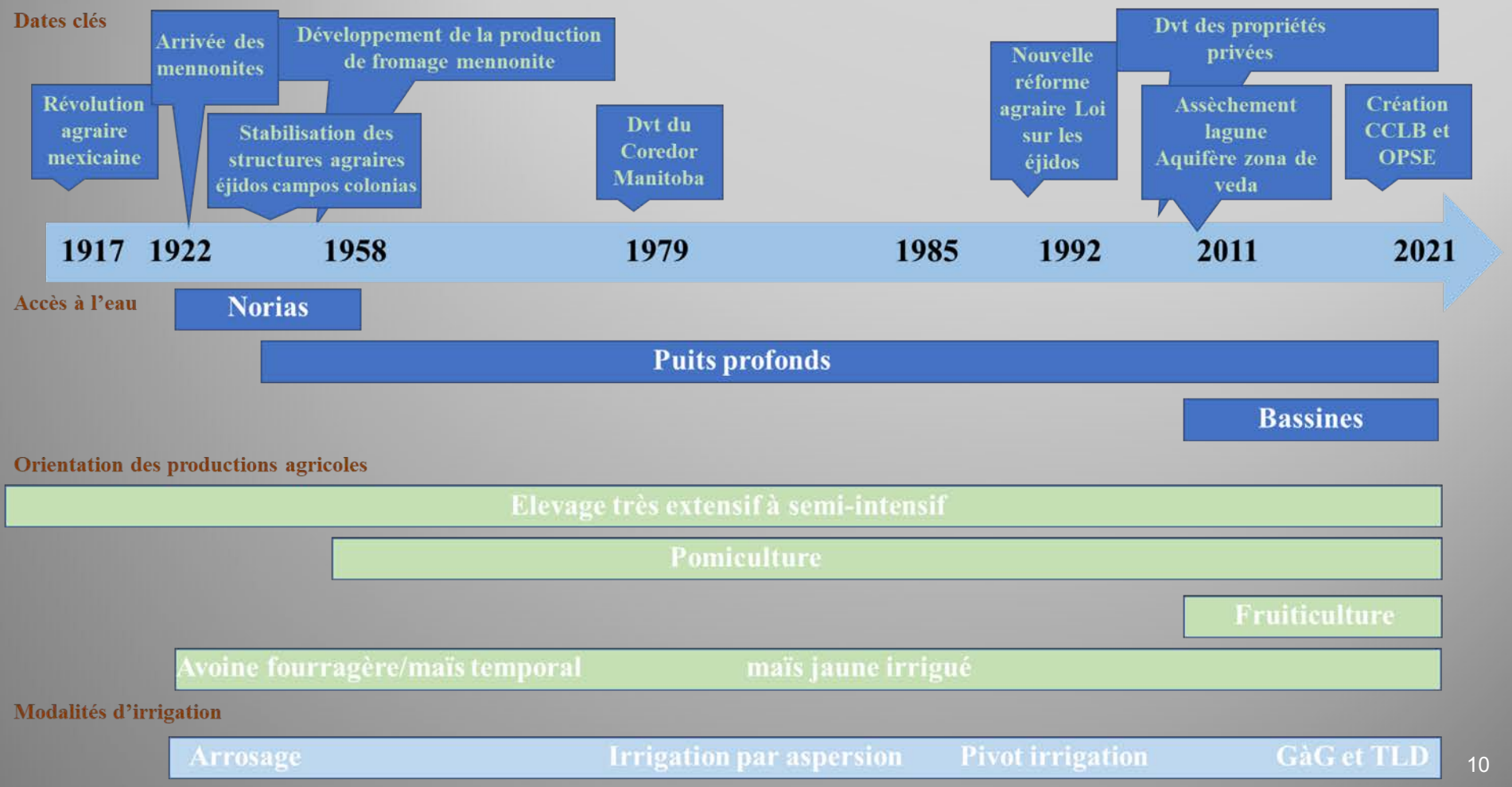
- 1917 — Révolution agraire mexicaine
- 1922 — Arrivée des mennonites
- 1958 — Stabilisation des structures agraires éjidos campos colonias
- 1958 — Développement de la production de fromage mennonite
- 1979 — Dvt du Coredor Manitoba
- 1985 — Nouvelle réforme agraire Loi sur les éjidos
- 1992 — Dvt des propriétés privées
- 2011 — Assèchement lagune Aquifère zona de veda
- 2021 — Création CCLB et OPSE



Les Rarámuris (Martínez Sánchez, 2022)
1831 Rancho San Antonio (Martínez Sánchez, 2022)
Francisco Villa + Álvaro Obregón + famille Zuloaga
Gare de San Antonio de Arenales 1920 (Martínez Sánchez, 2022 ; Bravo Peña, 2022)

La cuenca de la Laguna de Bustillos :
Spécialisation des productions et des usages de l'eau

Evolution des sources d'eau et des techniques d'irrigation :
Vers un accroissement des pressions sur la ressource en eau
et la construction d'une vulnérabilité

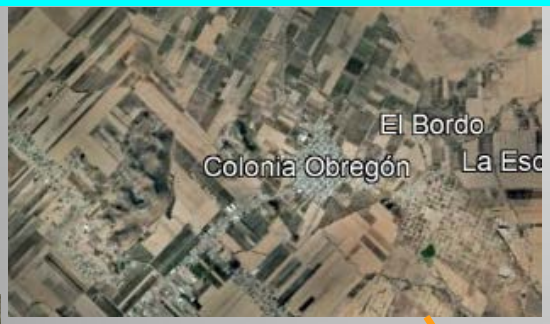


La cuenca de la Laguna de Bustillos :

Reconstruire la géohistoire autour de l'eau pour comprendre la diversité des paysages hydroagricoles actuels et les usages de l'eau

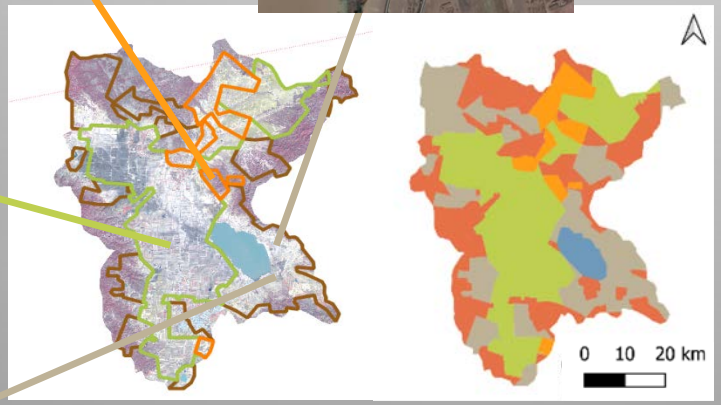
Propriété des terres

Campos Mennonites	**1 256 km²**	**36 %**
Ranchs privés	**922 km²**	**29 %**
Colonias agricolas	**214 km²**	**7 %**
Ejidos	**906 km²**	**28 %**



Usage des eaux souterraines par puits :

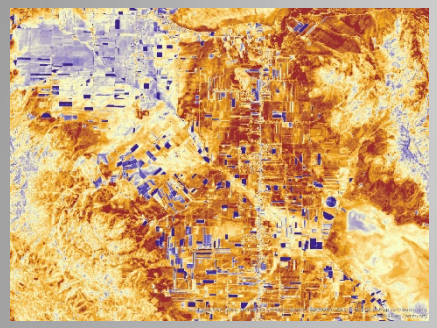
Campos Mennonites	**78,1 %**
Ranchs privés	**10,9 %**
Colonias agricolas	**4,5 %**
Ejidos	**6,5 %**



Extraits Google Earth illustrant la toponymie *campo, colonia, ejido* et propriétés privées et figures agricoles

2. Caractériser les pratiques, les vulnérabilités hydriques et les stratégies d' adaptation des agriculteurs et éleveurs dans la Cuenca de la Laguna de Bustillos

TC_Wetness

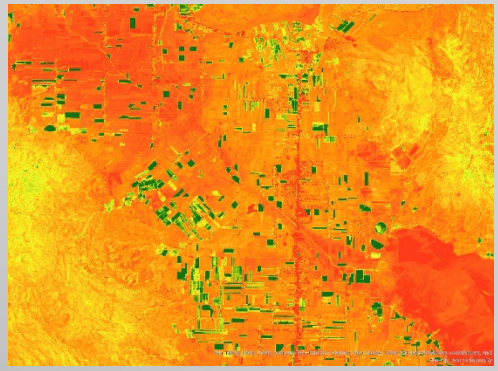


Indica el contenido de humedad tanto en el suelo como en la canopia (hojas) de la vegetación.
Interpretación: Valores Altos: Indican alta humedad, como suelos saturados, vegetación con alto contenido de agua o cuerpos de agua.
Valores Bajos: Indican superficies secas.
Brown-Blue Marrón (seco) -> Azul (húmedo)

TC_Greenness

Indica la abundancia y vigor de la vegetación verde.
Es un indicador de biomasa.
Interpretación: Valores Altos: Corresponden a vegetación saludable y densa (similar al NDVI).
Valores Bajos: Áreas con poca o ninguna vegetación.
Greens (Continuous) Claro (bajo verdor) -> Verde Oscuro (alto verdor)

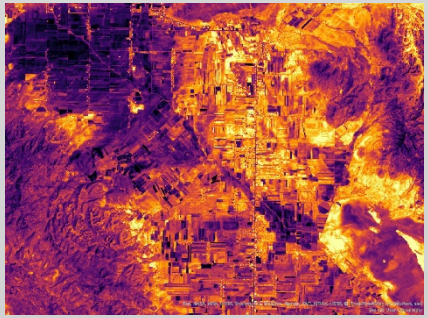
NDVI



Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index).
Indica la salud, densidad y vigor de la vegetación. Es el indicador más común para la biomasa fotosintéticamente activa.
Red-Yellow-Green Rojo (sin vegetación) -> Verde (vegetación sana)

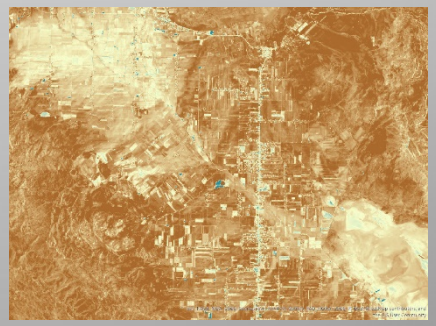
Landsat 8 6/05/2025

TC_Brightness



Indica la reflectividad general de la superficie. Está muy relacionado con la composición y exposición del suelo.
Interpretación:
Valores Altos: Superficies muy brillantes y reflectantes como suelo desnudo, áreas urbanas, arena o roca.
Valores Bajos: Superficies oscuras que absorben la luz, como agua o sombras.
Black to White o Plasma / Viridis Oscuro/Negro-Morado (baja reflectancia) -> Claro/Amarillo-Naranja (alta reflectancia)

MNDWI

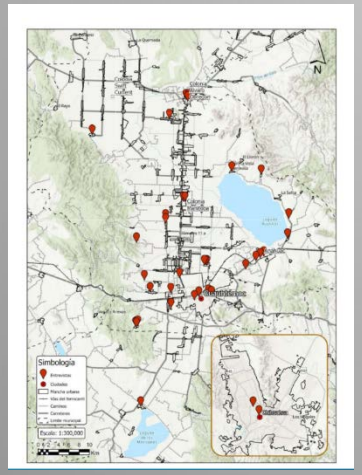


Índice de Agua de Diferencia Normalizada Modificado (Modified Normalized Difference Water Index). Indica la presencia de cuerpos de agua con alta precisión, suprimiendo el "ruido" de otras superficies como edificios o suelo. Marrón – Azul Marrón (tierra) -> Azul (agua)

https://www.researchgate.net/publication/333858503_Agricultural_furrow_irrigation_inefficiency_in_the_basin_of_the_Laguna_de_Bustillos_Chihuahua_Mexico_geometric_characteristics_of_agricultural_plots_and_aquifer_depletion

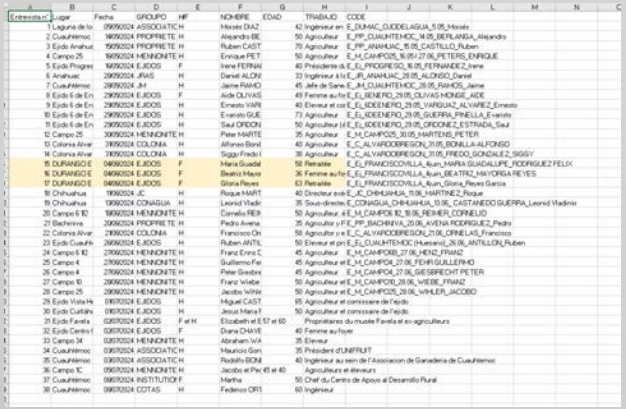
Analyse des vulnérabilités hydriques et des stratégies d'adaptation des agriculteurs et éleveurs dans la cuenca de la Laguna de Bustillos

- **31 ZADA**
- **38 entrevistas agricultores**
  entrevistas actores institutionnels
- **38 diagnostics agrarios**



Sélection des zones à tester

Exemple ZADA



Listing des entretiens par catégories

Echanges sur le terrain
Mai 2024

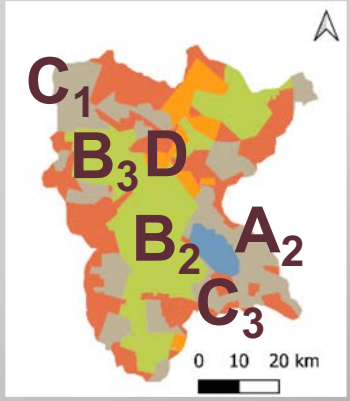
Diagnostics agraires et entretiens croisés : Typologie des capacités de réponses des agriculteurs et des éleveurs : inégales face aux vulnérabilités hydriques

- **Le type A : les ejidos producteurs de bétail, des systèmes agricoles particulièrement vulnérables face à la raréfaction des ressources en eau**
  - **Le sous-type A1 : les anciens éleveurs (5,3% de l'échantillon)**
  - **Le sous-type A2 : les éleveurs précaires (15,8% de l'échantillon)**
  - **Le sous-type A3 : Les éleveurs financièrement stables et diversifiés (10,5% de l'échantillon)**

- **Le type B : Les mennonites, des producteurs disposant d'un accès à l'eau privilégié et de stratégies efficaces d'adaptation au climat, mais de plus en plus vulnérables aux pénuries d'eau vulnérables face à la raréfaction des ressources en eau**
  - **Le sous-type B1 : les mennonites avec un accès fragile à l'eau (5,3% de notre échantillon)**
  - **Le sous-type B2 : Les mennonites « traditionnels » (15,8% de notre échantillon)**
  - **Le sous-type B3 : Les mennonites « libéraux » (10,5% de notre échantillon)**

- **Le type C : Les propriétaires privés, des producteurs de pommes peu vulnérables aux pénuries d'eau, avec des vergers hautement technicisés générant des revenus élevés**
  - **Le sous-type C1 : Les vieilles exploitations de pommes (10,5% de notre échantillon)**
  - **Le sous-type C2 : Les nouveaux producteurs de pommes (15,8% de notre échantillon)**
  - **Le sous-type C3 : La Norteñita, la première entreprise productrice de pommes au Mexique (5,3% de notre échantillon)**

- **Le type D : La Colonie agricole Rubio, un espace agro-pastoral diversifié mais insuffisamment technicisé (5,3% de notre échantillon)**



Les entretiens semi-directifs, caractérisation des vulnérabilités et des stratégies mises en oeuvre

Recursos y vulnerabilidades al agua

Tema	Hipotesis	Preguntas	Preguntas reorientacion
C o n	cion de la pobreza hidrica	Cuales son los recusos hidrocos locales ? Como evoluan durante el ano ?	Pero durante epoca seca falta agua ?
C o s	miento ar adecuada l de los e e llamam	s años 1930 ? 1990 ?... le construction ?	
P te	a cambios gua	écheresses ne sont elles réquentes ? Le niveau de la	
Perception inegalidad accesos	1. El tipo de structura agricola, la localisation de la explotacion (factor historico) conduce a un acceso diferente. 2. El acceso a la tecnologia esta condionado par los recursos o localisacion de la exploitacion. 3. Los factors culturales (creyencia) influencen las practicas. 4. La quantidad de agua es difrerente entre la part y baja de vertiente	Quelle eau utilisez vous ? Etes vous satisfait de la ressource ? Comment cela se passe dans les autres secteurs de la lagune ?	Est-ce que vous avez accès à des puits ? Des pivots ? Pourquoi n'utilisez vous pas de gouttes à gouttes ?
Perception	ciencia	ace con la sels quand le niveau bas, est ce il peut y avoir un lien entre la qualité et l'agriculture ou les rejets des habitations ? La disparition de la vie piscicole ?	
Perception subteranea	recurso	Vous utilisez des eaux de quelle origine ? Profondeur des puits	Est-ce qu'on utilise plus les eaux souterraines aujourd'hui ? Le spuits sotn de plus en plus profonds ?
Preception laguna	diversidad del	Que savez vous de la végétation ? Des animaux, oiseaux ou plants de la lagune ?	Est-ce que l'usage de l'eau, les rejets, le niveau de la lagune peut affecter la vie animal et végétale autour de la lagune?

Des stratégies d'adaptation différentes à l'échelle du bassin-versant : vers l'industrialisation et la production de cultures à haute valeur ajoutée pour les PP et qq M

Des aides gouvernementales limitées incitant au développement d'initiatives locales pour une gestion intégrée (adhésion au CC)

Des adaptations spécifiques telles le dvt de la reuse et reut pour certains M

Des capacités de réponses différenciées qui creusent les inégalités entre les agriculteurs et éleveurs du bassin-versant (E mais aussi certains M)

Etape du traitement ZADA : Classement par critères
(quantité d'eau, infrastructures d'irrigation, usages des sols, types de propriétés agricoles, qualité de l'eau, etc.)

Annexe 6 : Tableau Excel répertoriant les critères mentionnées par les enquêtés pour différencier le territoire durant la méthode ZADA

	Premier critère	Deuxième critère	Troisième critère	Quatrième critère	Cinquième critère	Sixième critère	Septième critère	Total
Épuisement ressources en eau	4	6	0	0	0	0	0	7
Disponibilité hydrique	5	2	0	0	0	0	0	8
Infrastructure d'irrigation (qual	2	2	5	1	0	1	0	4,40625
Qualité eau (contaminations, de	1	6	3	1	2	0	0	5
Profondeur nappe phréatique	4	2	0	0	0	0	0	5
Type d'irrigation (pluviale, gravit	2	3	1	0	1	0	1	3,628125
Type propriété agricole	1	0	0	1	0	1	0	1,15625
Usage sols	1	1	2	2	1	0	0	2,3125
Problèmes d'électricité	2	0	0	0	0	0	0	2
Mortier de la lagune	0	0	2	2	0	0	0	0,75
Canal trop sécheresse	2	0	0	0	0	0	0	2
Sécurité	1	0	0	0	0	0	0	1
Poussière venue de la lagune	1	0	0	0	0	0	0	1
Décomposition sociale	0	1	0	0	0	0	0	0,5
Mauvaise odeur venant de la la	0	1	0	0	0	0	0	0,5
Moustiques	0	0	1	0	0	0	0	0,25
Destination production	0	0	1	0	0	0	0	0,25
Conflits (eau / électricité)	0	0	1	0	0	0	0	0,25
Absence de comité de gestion e	0	0	0	1	0	0	0	0,125
Fertilité sols	0	0	0	0	1	0	0	0,0625
Caractéristiques géographiques	0	0	0	1	0	0	0	0,125

Critères mentionnés et c

Annexe 5 : Exemple de la table attributaire associée

	id	Usage sols	Type irrig	Infr irrig
1	1	Entreprises (de...	Très moderne	Puits
2	2	Pommes / maïs...	Très moderne	Puits
3	3	Milliers de pom...	Très moderne	Puits
4	4	Maïs et avoine	Temporal	Infrastructures ...
5	5	Elevage	Temporal	Infrastructures ...
		Pommes / maïs...	Très moderne	Puits

able attributaires des participants

Croiser les résultats avec les données satellites ?

TILLOS

DATE / LIEU	NUMERO / AUTE					CRITERE 5	CRITERE 6
28/05/24							
Anahuac	Carte 1 Perline	Quantité eau	Infrastructures d'irrigation	Usage sols	Type propriété agricole	Qualité eau	
29/05/24							
Ejido 6 de Enero	Carte 2 Chloé et Alexandra	Épuisement ressources en eau	Qualité eau				
Ejido 6 de Enero	Carte 3 Chloé et Alexandra	Épuisement ressources en eau	Qualité eau	Conflits (eau / électricité)	Absence de comité		
Ejido 6 de Enero	Carte 4 Chloé et Alexandra	Infrastructure irrigation	Épuisement ressources en eau	Qualité eau	Lagune		
31/05/24							

Croisement critères et cartes

Partage des résultats au sein du Consejo de Cuenca:
ateliers participatifs, sensibilisation des groupes suite aux travaux de 2024

Ateliers et Consejo de Cuenca
Perline Lafoux Daude
Juillet 2024

EL HERALDO DE CHIHUAHUA
Chihuahua, 14 de mayo de 2025

LOCAL LUNES, 5 DE AGOSTO DE 2024

Realizarán foro sobre impactos de la sequía en la agricultura regional de Cuauhtémoc

Además de abordar la problemática, los participantes del evento de la UACJ campus Cuauhtémoc, también buscarán posibles soluciones

Presse Locale Août 2024

Los organizadores del evento invitaron a los sectores involucrados en el tema para acompañarlos y ayudar en esta investigación que busca **construir bases para la sustentabilidad hidroagrícola en la región de Cuauhtémoc,** resaltando que la participación colectiva para compartir experiencias es muy importante.

Conclusion : de la pluridisplinarité des chercheurs à la participation des acteurs

- **Les apports d'une collaboration pluridisciplinaire**
- **Les intérêts d'un OPSE et d'un CC**
- **La participation/communication : vers une évolution des représentations des plus gros consommateurs d'eau de la cuenca ?**

De la cosmovision Mennonite, « l'eau don du ciel » à « une ressource perçue » ?

« el ojo de agua disminue, el nivel del pozo disminue, es dificile para componer lo, es preoccupante »
« Cuidar el agua, se debe cuidar mucho, … cuidando mas »
Propos agriculteur Mennonite Consejo de Cuenca du 12 janvier 2024

Merci !