

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA

PROGRAMAS MULTIDISCIPLINARIOS DE POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

## MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES

### EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DE SALUD DEL SUELO COMO INDICADOR DE VULNERABILIDAD AMBIENTAL EN LA COMUNIDAD DE NUEVO AQUISMÓN, TAMUÍN S.L.P.

#### PRESENTA:

Lic. Karla Jazmín Reyes Gallegos

#### DIRECTOR DE TESIS:

Dra. Gabriela Domínguez Cortinas

#### ASESORES:

Dr. Guillermo Espinosa Reyes

Dr. Javier Fortanelli Martínez

16 de Enero de 2019

## CRÉDITOS INSTITUCIONALES

PROYECTO REALIZADO EN:

LABORATORIO AMBIENTAL DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN APLICADA EN AMBIENTE Y SALUD (CIAAS) DE LA FACULTAD DE MEDICINA – COORDINACIÓN PARA LA INNOVACIÓN Y APLICACIÓN DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA (CIACYT) DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ.

PROGRAMAS MULTIDISCIPLINARIOS DE POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

CON FINANCIAMIENTO DE:

CONVOCATORIA SEMARNAT\_CONACYT 2014 FONDO SECTORIAL DE INVESTIGACIÓN AMBIENTAL

A TRAVÉS DEL PROYECTO DENOMINADO:

EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ASOCIADA A RIESGOS CLIMÁTICOS Y METEOROLÓGICOS EN COMUNIDADES MARGINADAS DE LAS REGIONES DEL ALTIPLANO, PLANICIE COSTERA Y SIERRA MADRE ORIENTAL DEL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ UASLP-SEMARNAT-CONACYT.

AL CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACYT) POR LA BECA OTORGADA (Becario No. 773068)

LA MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES RECIBE APOYO ATRAVÉS DEL PROGRAMA NACIONAL DE POSGRADOS DE CALIDAD (PNPC)

## AGRADECIMIENTOS

A dios por no abandonarme en mi camino y a mi familia por todo su apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida, por estar conmigo en todo momento y nunca dejarme a caer.

A mi directora de tesis Dra. Gabriela Domínguez Cortinas por todo su apoyo durante todo mi desarrollo académico.

A mis asesores el Dr. Javier Fortanelli y el Dr. Guillermo Espinosa por todo el conocimiento y dedicación que me transmitieron durante mi formación.

A las Dras. Laura Yañez y Erika García por sus aportaciones para la realización de mi trabajo.

A los ingenieros Raúl y Mario por toda la ayuda que me brindaron para la realización de mi trabajo.

A todas las comunidades en las que he tenido el enorme placer de trabajar especialmente a la comunidad de Nuevo Aquismón por dejarme entrar y al juez Eulalio San Martín Padierna por todo el apoyo que me dio para la realización del trabajo.

Al Laboratorio de Suelo, Agua y Planta de la Facultad de Agronomía y Veterinaria

A todo el equipo de trabajo del PMPCA por todo su apoyo durante mi estancia

A mis compañeros y amigos de la maestría en especial a Mariana, Alejandra y Eleno

A mis más fieles compañeros caninos en especial a mi querido Negro aunque ya no estés conmigo.

## ÍNDICE

ACRÓNIMOS .....	IX
RESUMEN.....	X
ABSTRAC.....	XI
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 2.....	3
2. ANTECEDENTES .....	3
2.1. Suelo .....	3
2.2. Salud de los suelos .....	4
2.3. Suelos en México .....	8
2.3.1. Procesos de afectación en los suelos de México.....	10
2.3.2. Antecedentes de estudios de salud del suelo .....	11
2.4. Vulnerabilidad ambiental.....	12
2.5. Variabilidad climática .....	14
2.6. Vulnerabilidad ambiental a través de la salud del suelo.....	15
CAPÍTULO 3.....	17
3. JUSTIFICACIÓN.....	17
CAPÍTULO 4.....	19
4. HIPÓTESIS.....	19
5. OBJETIVOS .....	19
5.1. Objetivo general.....	19
5.2. Objetivos específicos.....	19
CAPÍTULO 5.....	20
6. METODOLOGÍA .....	20

6.1.	Descripción de los sitios de estudio .....	20
6.1.1.	Tamuín.....	23
6.1.1.1.	Corrientes y cuerpos de agua .....	24
6.1.1.2.	Clima .....	24
6.1.1.3.	Grupo de suelo .....	25
6.1.1.4.	Uso de suelo y vegetación .....	27
6.1.1.5.	Comunidad de estudio Nuevo Aquismón .....	28
6.2.	Evaluación de la salud del suelo .....	29
6.2.1.	Recolección y análisis de muestras.....	29
6.2.1.1.	Método del hidrómetro para determinar la textura.....	32
6.2.1.2.	Método del puente de conductividad de Wheatstone .....	34
6.2.1.3.	Método de oxidación con ácido crómico y ácido sulfúrico .....	34
6.2.1.4.	Método potenciométrico .....	35
6.2.1.5.	Método volumétrico para carbonatos .....	36
6.2.1.6.	Potasio intercambiable método del espectrofotómetro de flama .....	37
6.2.1.7.	Nitrógeno inorgánico.....	37
6.2.1.8.	Densidad aparente método volumétrico .....	38
6.2.1.9.	Agua en suelo método gravimétrico.....	39
6.2.1.10.	Fósforo extraíble.....	39
6.2.2.	Análisis estadístico.....	40
CAPÍTULO 6.....		41
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
7.1.	Sistema de producción de alimentos .....	41
7.2.	Percepción climática.....	42
7.3.	Caracterización de los usos de suelo .....	45

7.4.	Evaluación de los suelos Vertisoles .....	46
7.4.1.	Análisis físico del suelo .....	46
7.4.1.1.	Textura.....	46
7.4.1.2.	Densidad aparente .....	47
7.4.1.3.	Humedad del suelo .....	47
7.4.2.	Análisis químico del suelo.....	48
7.4.2.1.	Materia orgánica.....	48
7.4.2.2.	pH del suelo .....	49
7.4.2.3.	Carbonatos totales .....	50
7.4.2.4.	Conductividad eléctrica .....	50
7.4.2.5.	Nitrógeno inorgánico .....	50
7.4.2.6.	Fósforo extraíble .....	51
7.4.2.7.	Potasio intercambiable.....	51
7.5.	Salud del suelo y vulnerabilidad ambiental .....	52
CAPÍTULO 7.....		58
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	58
8.1.	Conclusiones .....	58
8.2.	Recomendaciones.....	59
CAPÍTULO 8.....		61
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	61
10.	ANEXOS .....	73

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Servicios ecosistémicos de los suelos.....	4
Tabla 2. Indicadores para medir la salud del suelo .....	7
Tabla 3. Superficie de suelo y vegetación en el estado de San Luis Potosí 2007 y 2011 en hectáreas. ....	9
Tabla 4. Proceso para la selección de las Unidades de Riesgos Climáticos y Meteorológicos en el estado de San Luis Potosí. ....	20
Tabla 5. Patrones climáticos en los municipios de estudio .....	21
Tabla 6. Comunidades seleccionadas dentro del proyecto.....	22
Tabla 7. Precipitación total mensual del municipio de Tamuín. ....	24
Tabla 8. Temperatura media anual del municipio de Tamuín .....	25
Tabla 9. Características de los Vertisoles.....	27
Tabla 10. Superficie sembrada en Tamuín principales cultivos para el año 2010 .....	28
Tabla 11. Registro de eventos meteorológicos y de otra índole en el municipio de Tamuín para el período 1970-2013.....	44
Tabla 12. Estadísticos descriptivos de los parámetros físicos y químicos analizados.....	46
Tabla 13. Porcentajes de arena, limo y arcilla de acuerdo con su clase textural. ....	47
Tabla 14. Clasificación de la materia orgánica en el suelo .....	48
Tabla 15. Clasificación de los carbonatos totales .....	50
Tabla 16. Clasificación de los parámetros del suelo evaluados .....	52

## ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Indicadores físicos, químicos y biológicos usados para la medición de la salud del suelo y sus funciones en escenarios de cambio climático proyectado. ....	6
Imagen 2. Series I y VI de la carta de Uso de Suelo y Vegetación .....	8
Imagen 3. Principales investigaciones realizadas en Vertisoles, en México .....	12
Imagen 4. Modelo de Vulnerabilidad Ambiental .....	16
Imagen 5. Sitios de estudio dentro del proyecto.....	21
Imagen 6. Reunión con las comunidades .....	22
Imagen 7. Tendencias de la precipitación total por municipio en el período de 1996-2010 en el estado de San Luis Potosí .....	23
Imagen 8. Corrientes y cuerpos de agua en el municipio de Tamuín .....	24
Imagen 9. Suelos dominantes en el estado de San Luis Potosí. ....	25
Imagen 10. Vertisol de la comunidad de Nueva Primavera con grietas superficiales durante el estiaje.....	26
Imagen 11. Uso de suelo y vegetación en el municipio de Tamuín .....	27
Imagen 12. Existencias de ganado bovino según principales municipios .....	28
Imagen 13. Localización de la comunidad en el municipio de Tamuín .....	29
Imagen 14. Puntos de muestreo para Nuevo Aquismón en el municipio de Tamuín .....	30
Imagen 15. Toma de muestra .....	30
Imagen 16. Proceso para la recolección de la muestra de suelo .....	31
Imagen 17. Secado y tamizado de muestras .....	32
Imagen 18. Medición de la textura .....	33
Imagen 19. Triangulo de texturas .....	33
Imagen 20: Medición de la conductividad eléctrica .....	34
Imagen 21. Medición de la materia orgánica .....	35
Imagen 22. Potenciómetro para medir pH .....	36
Imagen 23. Medición de carbonatos .....	36
Imagen 24. Diluciones para construir la curva patrón de potasio .....	37
Imagen 25. Medición del potasio.....	37
Imagen 26. Medición de nitrógeno inorgánico.....	38
Imagen 27. Pastizal seco durante el estiaje comunidad de Nuevo Aquismón .....	43



Imagen 28. Ganado presente en la comunidad .....	45
Imagen 29. Clasificación de la materia orgánica.....	49
Imagen 30. Preparación del suelo para la siembra de sorgo. ....	55
Imagen 31. Vulnerabilidad ambiental y salud del suelo en la comunidad de Nuevo Aquismón. ....	57

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Superficie relativa de los principales grupos de suelo en México .....	8
Figura 2. Superficie relativa afectada por procesos de degradación del suelo en México...	11
Figura 3. Cultivos presentes en la comunidad de Nuevo Aquismón .....	41

## **ACRÓNIMOS**

CBTIS Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios

CEPAL Comisión Económica para América Latina y el Caribe

CONACYT Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

FAO Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

INAFED Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal

INECC Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía

IPCC Panel Intergubernamental de Cambio Climático

ISRIC Centro Internacional de Información y Referencia de Suelos

NASA Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio

NOM Norma Oficial Mexicana

NRSC Comité Nacional del Senado Republicano

OPS Organización Panamericana de la Salud

SEDESOL Secretaría de Desarrollo Social

SEMARNAT Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

SSSA Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo

UACh Universidad Autónoma de Chihuahua

UASLP Universidad Autónoma de San Luis Potosí

UNISDR Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgos de Desastres

USDA Departamento de Agricultura de los Estados Unidos

## **RESUMEN**

**Introducción:** El suelo es el medio natural para el crecimiento de las plantas y es un recurso finito cuya pérdida y degradación son irreversibles en el curso de una vida humana. Sin embargo, existen actividades humanas y amenazas climáticas que lo afectan y que intervienen sobre su salud. **Objetivo:** Realizar un diagnóstico de la condición de salud del suelo como un indicador de vulnerabilidad ambiental en la comunidad de Nuevo Aquismón que se encuentra en regiones de variabilidad climática extrema que sienta la base para posteriormente diseñar estrategias de mitigación y adaptación. **Metodología:** Se realizó un estudio exploratorio descriptivo transversal, se realizaron 39 cédulas de información ambiental y se analizaron 10 parámetros físicos y químicos (textura, densidad aparente, humedad del suelo, conductividad eléctrica, materia orgánica, pH, fósforo asimilable, nitrógeno inorgánico, potasio, carbonatos totales) de 45 muestras de suelo recolectadas de la comunidad. **Resultados:** El 94% de las muestras presentaron textura arcillosa, la conductividad eléctrica fue  $0.740 \pm 0.28$  mS  $\text{cm}^{-1}$ , el pH se encontró clasificado como medianamente alcalino con  $7.77 \pm 0.14$ , la densidad aparente fue de  $1.35 \pm 0.02$  g  $\text{cm}^{-3}$ , la humedad del suelo fue capacidad de campo  $37.71\% \pm 4.13$  y punto de marchitez permanente  $18.83\% \pm 2.07$ , para la materia orgánica fue de  $3.17\% \pm 1.10$ , carbonatos totales de  $4.95\% \pm 5.07$ , nitrógeno inorgánico fue de  $10.11 \pm 5.10$  Kg  $\text{ha}^{-1}$ , fósforo extraíble estuvo en  $28.09 \pm 9.59$  Kg  $\text{ha}^{-1}$  y potasio fue de  $1791.60 \pm 488.36$  Kg  $\text{ha}^{-1}$ . **Conclusiones:** Los parámetros evaluados se observaron casi todos dentro de los límites de los Vertisoles. Pese a estos resultados se debe considerar el patrón climático encontrado para el municipio de Tamuín y como este puede interferir con la salud del suelo aunado a la percepción de la comunidad respecto a estos factores.

**Palabras clave:** *Vulnerabilidad ambiental, variabilidad climática, indicadores, suelo*

## **ABSTRAC**

**Introduction:** Soil is the natural medium for the growth of plants and is a finite resource whose loss and degradation are irreversible in the course of a human life. However, there are human activities and climatic threats that affect it and that intervene on their health.

**Objective:** Make a diagnosis of the soil health condition as an indicator of environmental vulnerability in the community of Nuevo Aquismón that is located in regions of extreme climatic variability that forms the basis for later designing mitigation and adaptation strategies.

**Methodology:** It was a study exploratory cross-sectional descriptive, in which 39 environmental information questionnaires were carried out and 10 physical and chemical parameters were analyzed (texture, bulk density, soil moisture, electrical conductivity, organic matter, pH, assimilable phosphorus, inorganic nitrogen, potassium and total carbonates) of 45 soil samples collected from the community.

**Results:** The result showed that the 94% of the samples presented clayey texture, the electrical conductivity was  $0.740 \pm 0.28$  mS cm<sup>-1</sup>, the pH was classified as mildly alkaline with  $7.77 \pm 0.14$ , the bulk density was  $1.35 \pm 0.02$  g cm<sup>-3</sup>, the humidity of soil was field capacity  $37.71\% \pm 4.13$  and permanent wilting point  $18.83\% \pm 2.07$ , for organic matter was  $3.17\% \pm 1.10$ , total carbonates of  $4.95\% \pm 5.07$ , inorganic nitrogen was  $10.11 \pm 5.10$  Kg ha<sup>-1</sup>, extractable phosphorus was at  $28.09 \pm 9.59$  Kg ha<sup>-1</sup> and potassium was  $1791.60 \pm 488.36$  Kg ha<sup>-1</sup>.

**Conclusions:** The parameters evaluated were almost all observed within the limits of Vertisols. Despite these results, we must consider the weather pattern found for the municipality of Tamuín and how this can interfere with the health of the soil together with the perception of the community respect to these factors.

**Keywords:** *Environmental vulnerability, climatic variability, indicators, soil*

# **CAPÍTULO 1**

---

## **EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DE SALUD DEL SUELO COMO INDICADOR DE VULNERABILIDAD AMBIENTAL EN LA COMUNIDAD DE NUEVO AQUISMÓN, TAMUÍN S.L.P.**

### **1. INTRODUCCIÓN**

El suelo es el medio natural para el crecimiento de las plantas y es un recurso finito en donde su pérdida y degradación no son reversibles en el curso de una vida humana. Sin embargo, existen actividades humanas y amenazas climáticas que lo afectan y que intervienen sobre la salud de este. Ya que actualmente el 33% de los suelos mundiales y el 45% de los suelos en México presenta algún proceso de degradación que plantea una amenaza para cubrir las necesidades de las poblaciones (FAO-OPS, 2017; FAO, 2015; SEMARNAT, 2015).

Mas claramente tan solo en el año 2011 se perdieron 24 millones de toneladas de suelo fértil teniendo en cuenta que de continuar a ese ritmo se calcula que para el año 2050 la superficie del suelo fértil se verá reducida a la mitad (FAO, 2015a; World Bank, 2016).

De esta manera se tiene que los impactos actuales sobre la salud del suelo están provocando: incremento en los costos de producción, disminución en el rendimiento de cultivos, pérdida de nutrientes y materia orgánica, cambios en la infiltración y permeabilidad. Así como incremento de sedimentos, turbidez del agua, eutrofización y riesgo por inundaciones, aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> gas de efecto invernadero y contaminación generando procesos de vulnerabilidad ambiental (INECC, 2014).

Siendo así que las personas pobres, especialmente habitantes de comunidades rurales son los que resultan con frecuencia más vulnerables, por la degradación de los recursos naturales que utilizan en este caso del suelo. Puesto que sus medios de vida dependen en su mayoría de este de acuerdo con los servicios que otorga de aprovisionamiento, regulación, soporte y culturales (FAO-OPS, 2017).

Por tal motivo la importancia de evaluar el estado de sus propiedades con un enfoque holístico a través de la salud de los suelos. Donde se evalúe sus límites y funciones dentro

del ecosistema mediante el uso de indicadores, que midan sus cambios con el fin de proporcionar información de su estado y de cómo éste puede o no conducir a un momento de vulnerabilidad ambiental (USDA-NRSC-SQI, 2001; USDA, 2017).

Es así entonces que dentro del presente trabajo se pretende abordar la salud del suelo como un indicador de vulnerabilidad ambiental en una comunidad rural de la Huasteca Potosina que presenta variabilidad climática con el objetivo de proveer un diagnóstico de la condición actual del suelo que sirva de base para posteriores estrategias de mitigación y adaptación que se usen para mejorar la calidad de vida de los habitantes de la comunidad y del suelo.

## **CAPÍTULO 2**

---

### **2. ANTECEDENTES**

#### **2.1. Suelo**

Es la capa superficial de material mineral y orgánico, no consolidado, que sirve de medio natural para el crecimiento de las plantas, y que ha sido sujeto y presenta los efectos de los factores que le dieron origen el clima, la topografía, la biota, el material parental y el tiempo y que, debido a la interacción de éstos, va a diferir en sus propiedades físicas, químicas, biológicas y morfológicas del sustrato rocoso del que se originó. Siendo así que el suelo es un producto proveniente de las alteraciones e interacciones que experimentan estos materiales (FAO, 2017; SSSA, 2017)

Otras definiciones señalan que es una colección de cuerpos naturales formados por sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases, sobre la superficie de los terrenos. Que presenta horizontes o capas, y que igualmente van a diferenciarse del material de origen por el resultado de adiciones, pérdidas, migraciones y transformaciones de energía y materia además por la habilidad de soportar raíces de plantas en un ambiente natural (NOM-021-SEMARNAT-2000).

Los suelos son de vital importancia para el planeta debido a que proporcionan servicios ecosistémicos entendidos como los beneficios que la población obtiene de manera directa o indirecta de los ecosistemas y que pueden ser de soporte, regulación, provisión y culturales (Tabla 1). Por ejemplo, el suelo desempeña funciones transcendentales a través de su participación en los ciclos biogeoquímicos, en la retención y captura de agua, filtración de compuestos tóxicos, además de ser uno de los principales reservorios de carbono en los ecosistemas terrestres, y ser de vital importancia para la producción de alimentos, fibras y combustibles (INECC, 2014).

**Tabla 1. Servicios ecosistémicos de los suelos**

<b>Función</b>	<b>Descripción</b>
<b>Medio para el crecimiento de las plantas</b>	<p>El suelo provee soporte físico, que permite el anclaje de los sistemas de raíces para que las plantas se sostengan. Las plantas además dependen de los procesos de respiración del suelo para obtener energía y las soluciones en el suelo suministran diferentes macronutrientes y micronutrientes a las plantas.</p> <p>Es un moderador de las fluctuaciones de temperatura por su propiedad aislante que protege porciones más profundas de los sistemas de raíz de los extremos de frío y calor que a menudo ocurren.</p> <p>Muchos suelos protegen a las plantas de agentes tóxicos ya sea por medio de la ventilación de los gases, descomposición o absorción de toxinas orgánicas o por supresión de los organismos productores de toxinas.</p>
<b>Sistema de suministro y purificación del agua</b>	<p>Desempeña un papel importante en el abastecimiento de agua limpia. Debido a que la infiltración del agua a través del suelo atrapa contaminantes e impide que estos se filtren en el agua freática.</p> <p>El suelo absorbe el agua y la mantiene disponible para que las raíces de las plantas puedan disponer de esta cuando la necesiten (enfriamiento, transporte de nutrientes, mantenimiento de la turgencia, fotosíntesis etc.).</p> <p>En el ciclo hidrológico el agua almacenada en el suelo representa cerca del 90% del agua consumida por los cultivos en el mundo y reduce la evaporación beneficiando en épocas de sequías o lluvias intensas.</p>
<b>Sistema de reciclaje de nutrientes y desperdicios orgánicos</b>	<p>El suelo es esencial en los ciclos biogeoquímicos por su capacidad de asimilar gran cantidad de compuestos orgánicos en humus, además porque convierte los nutrientes minerales de los desechos a formas que pueden ser utilizadas por las plantas y animales, retornando el carbono a la atmósfera donde de nuevo forma parte de los organismos vivos a través de la fotosíntesis.</p> <p>Sus cargas eléctricas de partículas, así como su tamaño pequeño y su superficie de contacto, hacen que se den las condiciones adecuadas para que se realicen diversas reacciones químicas que pueden reducir e incluso desactivar la toxicidad de ciertos contaminantes en el suelo y evitar su dispersión.</p> <p>Algunos suelos pueden acumular grandes cantidades de carbono como materia orgánica por lo cual es un elemento esencial dentro del cambio climático.</p>
<b>Hábitat de organismos</b>	<p>El suelo es el hogar de billones de organismos pertenecientes a miles de especies tales como: depredadores, presas, productores, consumidores y parásitos gracias a la enorme gama de nichos y hábitats que lo albergan.</p>

Fuente: Adaptado de (Brady & Weil, 2007; FAO, 2015b; SEMARNAT, 2017)

Como se observa el suelo desarrolla un papel fundamental por todas las funciones vitales que desempeña si se considera solamente que 95% de los alimentos en el mundo dependen de este directa o indirectamente (FAO, 2015a).

## **2.2. Salud de los suelos**

La salud de los suelos se refiere a la autorregulación, la estabilidad, la resiliencia y la falta de síntomas de estrés en un suelo visto como un ecosistema. Describe la integridad biológica de la comunidad del suelo: el equilibrio entre los organismos dentro de un suelo y



entre los organismos del suelo y su entorno lo cual permite la productividad biológica, la calidad y el mantenimiento de la salud vegetal y animal (Brady & Weil, 2007; Gamliel & van Bruggen, 2015).

Otros autores como Van Bruggen *et al.*, 2000; 2006; 2015b en Gamliel & Van Bruggen, (2015) definen la salud del suelo como la capacidad continua que tiene para funcionar como un sistema vivo en el ecosistema y dentro de las fronteras de uso de la tierra. Que se caracteriza por complejas, interrelaciones de redes alimentarias diversificadas con grandes fuentes de carbono, limitada pérdida de nutrientes y resistente para el combate de plagas y enfermedades.

Así pues, la salud de los suelos plantea una visión compleja que supone el estado de sus propiedades dinámicas con un enfoque holístico. En donde su medición permite evaluar el suelo en relación con sus límites y funciones dentro del ecosistema. Siendo así que los indicadores de la salud del suelo ofrecen información de sus propiedades físicas, químicas, biológicas, procesos o características que se relacionan con mecanismos funcionales (USDA, 2017; USDA-NRSC-SQI, 2001).

Por lo tanto, sus indicadores son útiles, para medir los cambios en el suelo al proveer información que permite simplificar, cuantificar y comunicar fenómenos. Tales indicadores cumplen con criterios como: ser integradores, fáciles de medir y entender, adecuados al nivel de análisis y sistema de estudio, reflejan la condición que se quiere medir, sensibles a los cambios en el suelo, integrales con otros indicadores y relativamente fáciles de medir en campo (Adriaanse, 1993; Ramírez, 2004 en García, Ramírez, & Sánchez, 2012).

No obstante, si bien cada uno de estos son interdependientes, se señala la importancia de la integración dentro de las evaluaciones de la salud de suelo para generar un diagnóstico más preciso (Doran & Zeiss, 2000; De la Paz-Jiménez *et al.*, 2002; Vallejo, 2012 en Vallejo-Quintero, 2013).

Estos por ejemplo tienen relevancia para evaluar los impactos del cambio climático ya que están interrelacionados con los impulsores de este como el uso de suelo, la variabilidad en la cantidad, intensidad y distribución de la lluvia y eventos climáticos extremos (Imagen 1)

(Bardgett *et al.*, 2008; Kibblewhite *et al.*, 2008; Wixon y Balser, 2009 en Allen, Bhupinder & Dalal, 2011).

**Table 2.1** Soil health indicators and relations to processes and functions under projected climate change scenarios<sup>a</sup>

Soil health indicators	Soil processes affected	Landscape scale (direct determination or estimated from pedotransfer functions)	Relevance to assess climate change impacts	Inclusion in a minimum data set	
Physical	Soil structure	Aggregate stability, organic matter turnover	Aggregation, surface seal, indication of water and chemical retention and transportation	Medium	Frequent
	Porosity	Air capacity, plant available water capacity, relative field capacity	Soil crusting, reduced seed germination, aeration, water entry	High	Occasional/frequent
	Infiltration	Soil water availability and movement	Potential for leaching, productivity, erosion	High	Occasional
	Bulk density	Soil structural condition; compaction	Volumetric basis for soil reporting	Low	Frequent
	Soil depth and rooting	Plant available water capacity, subsoil salinity	Productivity potential; uncertain whether trends can be discerned over long time periods	Medium	Occasional
Chemical	Soil/plant available water and distribution	Field capacity, permanent wilting point, macropore flow, texture	Water and chemical retention and transportation; yield	High	Frequent
	Soil protective cover	Soil water and nutrient movement, soil stabilisation, C and N fixation	Soil physical movement, organic matter input and movement	Medium	Frequent
	pH	Biological and chemical activity thresholds	Soil acidification, salinisation, electrical conductivity, soil structural stability	Medium	Frequent
	EC	Plant and microbial activity thresholds	Soil structural decline; leachable salts	Medium	Frequent
Biological	Plant available N, P, K	Plant available nutrients and potential for loss	Capacity for crop growth and yield; environmental hazard (e.g. algal blooms)	Medium	Frequent
	Soil organic matter	Plant residue decomposition, organic matter storage and quality, macroaggregate formation	Loss of organic matter, soil aggregate formation	High	Frequent
	Light fraction or Macro-organic matter	Metabolic activity of soil organisms, net inorganic N flux from mineralisation and immobilisation	Total organic C, soil respiration rate, nutrient supply	High	Occasional
	Mineralisable C and N	C and N mass and balance	Microbial activity, nutrient supply	High	Occasional/frequent
	Soil total C and N	Microbial activity	Soil structure, nutrient supply	High	Occasional
	Soil respiration	Microbial activity	Microbial activity	High	Occasional
	Microbial biomass C and N	Microbial activity	Soil structure, nutrient supply, pesticide degradation	High	Frequent/ Occasional
Microbial quotients	Substrate use efficiency	Substrate quality	High	Occasional	
Microbial diversity	Nutrient cycling and availability		High	Occasional	
Other microbiological indicators, enzyme activity	Soil structure, labile carbon, $K_m$ , $V_{max}$ , $K_i$ , $Q_{10}$	Biochemical activity, nutrient supply	High	Occasional	

<sup>a</sup>Adapted from Dalal and Moloney 2000; Gregorich *et al.* 1994; Haynes 2008; Idowu *et al.* 2009; Kinyangi 2007; Reynolds *et al.* 2009; Stenberg 1999

### Imagen 1. Indicadores físicos, químicos y biológicos usados para la medición de la salud del suelo y sus funciones en escenarios de cambio climático proyectado.

Fuente: ( Allen, Bhupinder , & Dalal, 2011)

Los indicadores físicos se evalúan debido a que no se pueden mejorar tan fácilmente y la condición física se asocia con el uso eficiente del agua, nutrientes, potencial productivo y pesticidas, los químicos intervienen en las relaciones entre el suelo y la planta, la calidad del agua y su capacidad amortiguadora y los biológicos evalúan factores que afectan la salud del suelo ya que los microorganismos presentan una elevada sensibilidad a disturbios antropogénicos, respondiendo en escalas de tiempo mucho más cortas. (SQI, 1996; Karlen *et al.*, 1997; Villani *et al.*, 1999; Navarro *et al.*, 2008 en García, Ramírez, & Sánchez, 2012; Vallejo-Quintero, 2013).

Es por lo que la afectación o el cambio en algunos de estos indicadores se verá reflejado en los otros (Huerta *et al.*, 2008; Turbé *et al.*, 2010 en Vallejo-Quintero, 2013). A continuación se presentan los indicadores seleccionados para la presente investigación así como también su relación con las funciones y condiciones del suelo (Tabla 2).

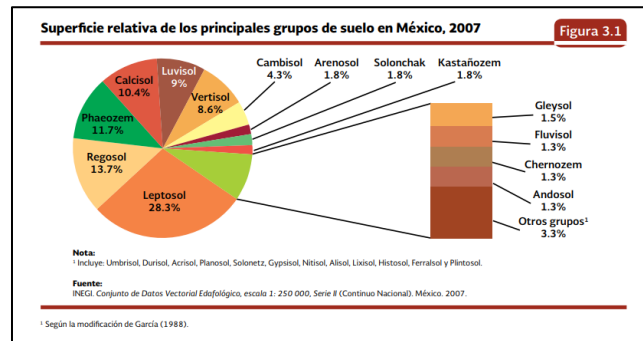
**Tabla 2. Indicadores para medir la salud del suelo**

<b>Indicador</b>	<b>Relación con las funciones y condiciones del suelo</b>
<b>Textura</b>	Se considera una de las propiedades más importantes del suelo, por su influencia determinante en su funcionamiento. De esta depende el abastecimiento de nutrientes y el flujo de agua y aire necesarios para el establecimiento de los organismos.
<b>Densidad aparente</b>	Es una medida indirecta de la porosidad y la compactación del suelo. Fundamental para calcular el movimiento del agua y el tipo de drenaje, para establecer la clase de labranza en las tierras agrícolas e influye también en la actividad microbiológica, germinación y establecimiento de las plantas.
<b>Agua en el suelo</b>	La presencia de agua es crucial para su formación y para que pueda sustentar plantas y microorganismos. Sin embargo, en algunos casos el agua puede ser perjudicial ya que es el principal promotor de la erosión, lixiviación de nutrientes y en exceso puede generar condiciones anaeróbicas en el suelo.
<b>Conductividad eléctrica</b>	Es una medida indirecta de la salinidad del agua y extractos del suelo, actividad microbiológica y crecimiento de plantas.
<b>Materia orgánica</b>	Es la fracción orgánica que incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición; tejidos y células de organismos que viven en el suelo y sustancias producidas por los habitantes de este. Aporta macronutrientes y micronutrientes. Además, incrementa la capacidad de intercambio catiónico y actúa como un regulador de pH. A través de esta se puede evaluar la estabilidad y el grado de erosión, fertilidad del suelo, potencial productivo etc.
<b>pH</b>	Forman suelos de buena fertilidad, puede desempeñar un papel importante en la formación de agregados en los suelos que contienen carbonatos y conservar el fósforo en la forma intercambiable en condiciones adecuadas.
<b>Carbonatos</b>	Forman suelos de buena fertilidad, puede desempeñar un papel importante en la formación de agregados.
<b>Potasio intercambiable</b>	Es un nutriente esencial para todas las plantas realiza importantes funciones como impartir vigor y resistencia a los cultivos contra las enfermedades, aumentar el tamaño de granos y semillas, interviene en la formación y transferencia de azúcares, regula las pérdidas de agua dentro de las células y acelera las reacciones enzimáticas.
<b>Fósforo extraíble</b>	Es un macronutriente esencial junto con el nitrógeno y el potasio forma parte de la fertilización de uso generalizado en el mundo. Es un componente de las moléculas de los ácidos nucleicos. Un abastecimiento adecuado es necesario para la formación de primordios para las partes reproductivas de las plantas.
<b>Nitrógeno inorgánico</b>	El nitrógeno es un elemento indispensable para la vida, debido a que forma parte de las principales biomoléculas de todos los seres vivos.

Fuente: Adaptado de (Bautista Cruz, *et al.*, 2004; NOM-021-SEMARNAT-2000; Ontiveros, 2013; USDA, 2017).

## 2.3. Suelos en México

En el país se reconocen 25 grupos de suelo no obstante, solo seis de ellos cubren el 80.7% de la superficie nacional: los principales son los Leptosoles con 52.6 millones de ha, (Figura 1). De los seis grupos de suelo solo tres se utilizan para uso agrícola los Luvisoles, Vertisoles y Feozems con un área de 44.7% (30% en agricultura y 14.7% en pastizales) para el año 2011 (Cruz *et al.*, 2007; INEGI, 2007 en SEMARNAT, 2015).



**Figura 1. Superficie relativa de los principales grupos de suelo en México**

Fuente: (SEMARNAT, 2015)

El uso de suelo y vegetación en México de acuerdo con las series de uso de suelo I y VI del periodo 1985-2014 estiman que, en el caso de la agricultura, está tuvo un incremento de 263,642 km<sup>2</sup> a 332,325 km<sup>2</sup> (Imagen 2). Es así que las áreas agrícolas en conjunto con los pastizales cultivados cubren el 24% del territorio mexicano (INEGI, 2017b).

**Serie VI de la Carta de Uso de Suelo y Vegetación**

	1985 (Serie I)		2014 (Serie VI)		Variación 1985 - 2014	
	Extensión (km2)	% del territorio	Extensión (km2)	% del territorio	Extensión (km2)	%
<b>Vegetación Primaria</b>	1,202,625	61.4%	953,108	48.6%	-249,518	-20.7%
<b>Agricultura</b>	263,642	13.4%	332,325	17.0%	68,683	26.1%
<b>Bosques primarios</b>	285,181	14.5%	208,723	10.6%	-76,458	-26.8%
<b>Selvas</b>	499,353	25.5%	330,370	16.9%	-168,983	-33.8%

**Imagen 2. Series I y VI de la carta de Uso de Suelo y Vegetación**

Fuente: (INEGI, 2017b)

En la Tabla 3 se muestra el uso de suelo del año 2007 y 2011 para el estado de San Luis Potosí.

**Tabla 3. Superficie de suelo y vegetación en el estado de San Luis Potosí 2007 y 2011 en hectáreas.**

<b>Año</b>	<b>Agrícola</b>	<b>Bosque cultivado</b>	<b>Pastizal cultivado</b>	<b>Área sin vegetación aparente</b>	<b>Vegetación natural o inducida</b>
<b>2007</b>	1,281,291.77	134.85	327,007.05	120.34	4,368,945.23
<b>2011</b>	1,326,197.27	134.84	315,615.18	1,541.10	4,346,242.39

Fuente: Adaptado de (SEMARNAT, 2011)

Se observa que la superficie de uso agrícola aumentó 44,904 ha y que las áreas sin vegetación aparente pasaron de 120 ha a 1,541 doce veces más que en el 2007. También, la vegetación natural o inducida disminuyó 22,703 ha. Se destaca que actividades como la agricultura, el sobrepastoreo y el desarrollo urbano son las actividades que más repercuten sobre la degradación del suelo en el estado (SEMARNAT, 2011).

A nivel local existe un estudio sobre el uso de suelo del municipio de Tamuín el cual determinó que durante el período de 1990-2000 las praderas se extendieron hasta ocupar casi por completo el norte y sur del municipio. Siendo que para el año 2000 solo existían 10,200 ha de selvas fragmentadas con diversos grados de perturbación en el centro y norte del municipio y en otras regiones de los municipios de Ébano y Tamuín (Reyes Hernández et al., 2006).

Siendo la causa principal que dentro de este municipio y otros del estado se había llevado a cabo un proyecto denominado Pujal-Coy (cambio de uso de suelo de ganadería extensiva a producción agrícola intensiva basada en el riego San Luis Potosí, México, de 1973-2000). Empero, este proyecto no pudo cumplir con sus objetivos debido a la naturaleza de los suelos Vertisoles que, a pesar de su fertilidad, presentan serias dificultades para la labranza, y que en el caso de las praderas estas no requieren de la misma (Reyes, 2005 en Reyes Hernández et al., 2006).

### **2.3.1. Procesos de afectación en los suelos de México**

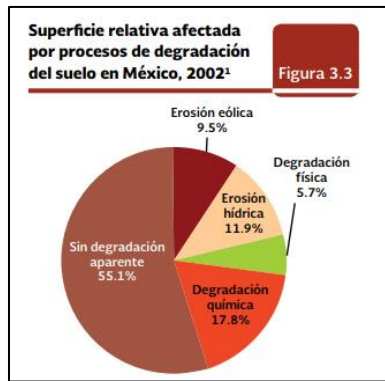
Según el “*Informe de la Situación del Medio Ambiente en México*” de 2015 resalta la preocupación por la degradación de los suelos que repercute en la producción de alimentos y la captación de agua. Estas afectaciones se presentan especialmente por los cambios en la cobertura vegetal a campos de cultivo, aun cuando el tipo de suelo no es el adecuado lo que causa daños en la biodiversidad y enormes pérdidas de carbono orgánico en consecuencia emisión de gases de efecto invernadero (SEMARNAT, 2015).

Hasta el momento en el país se cuenta con dos evaluaciones de la degradación de los suelos, una que midió la pérdida de suelo por erosión hídrica y eólica del año 2002 y otra en 2003 que evaluó la degradación del suelo causada por el hombre pero no son comparables por sus metodologías.

En la primera se encontró que el 42% de la superficie del país podría estar afectada por la erosión hídrica siendo los estados de Guerrero, Puebla, Morelos, Oaxaca y México los que presentan más del 50% de daño en su territorio. Por su parte la erosión eólica se mostró en 89% del territorio en los estados de Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Sonora, Durango y Zacatecas con alta y muy alta erosión en relación al tipo de vegetación y clima de zonas áridas y semiáridas (SEMARNAT-UACH, 2003).

El otro estudio publicado en 2003 evaluó la degradación del suelo causada por el hombre en donde determinó cuatro tipos erosión hídrica y eólica, degradación química y física, clasificando los cuatro procesos en niveles ligero, moderado, fuerte y extremo, así como también las causas (Figura 2). De acuerdo con esto el 45% de los suelos presentaron algún proceso de degradación (SEMARNAT-CP, 2003).

Por otra parte, en este mismo informe se analizó la degradación del suelo a través del nivel de afectación, a partir de la reducción de la productividad biológica encontrándose 3.97 ha (2,1%) afectadas con niveles de degradación fuerte y extrema y 81.78 ha (42.8%) con degradación ligera y moderada (SEMARNAT-CP, 2003).



**Figura 2. Superficie relativa afectada por procesos de degradación del suelo en México**

Fuente: (SEMARNAT, 2015)

En el caso del estado de San Luis Potosí se presentan datos respecto a la erosión hídrica para el año 2002 con una superficie total afectada de 465.68 ha (7.8%) de su territorio; respecto a la degradación eólica se tiene una pérdida de suelo superficial de 449.1 ha (7.5%) (SEMARNAT-CP, 2003).

Para la degradación química se tienen resultados por categoría de afectación: disminución de la fertilidad con una superficie de 697.7 ha (11.6%) del territorio, contaminación 158.4 (2.6%), salinización-alkalinización 6.0 (0.1%), eutrofización 1.9 (0.03%) con una superficie estatal total afectada de 864 ha (14.4%) de su territorio (SEMARNAT-CP, 2003).

En el caso de la degradación física se encontró pérdida de la función productiva 78.3 ha (1.3%) y compactación 422.2 (7%) y la superficie estatal afectada 500.5 ha (8.3%) de su territorio (SEMARNAT-CP, 2003).

### **2.3.2. Antecedentes de estudios de salud del suelo**

Autores como Torres G *et al.*, (2016) han realizado trabajos de investigación sobre la salud de los Vertisoles suelos de la presente investigación para el manejo agronómico en el cual se destaca que aunque poseen un gran potencial productivo para granos como sorgo, trigo, maíz, caña de azúcar y hortalizas SIAP, 2015 en (Torres G et al., 2016). Estos presentan degradación física en un 66% por compactación y degradación química por declinación en su fertilidad en un 53% (SEMARNAT-CP, 2003).

Así mismo dentro de su estudio se presentan las principales investigaciones que se han realizado en México sobre los Vertisoles señalando los indicadores que se han utilizado para evaluarlos en la Imagen 3 se muestran algunos ejemplos.

Autor	Año	Lugar	Cultivo	Fertilización	Manejo agronómico	Propiedades edáficas modificadas/rendimientos
Vidal-Martínez <i>et al.</i>	2006	Montecillo, Edo. de México	Brócoli	0-140 partes de K	Manejo convencional y fertirrigación en invernadero.	Aumento en rendimientos y contenido de K.
Bolio-López <i>et al.</i>	2008	Santa Rosalía, Tabasco	Caña de azúcar	No especificado	Dinámica de potasio en cultivos de caña de diferentes edades.	Contenido de K y aumento del rendimiento.
Fregoso Tirado.	2008	Valle de Santiago, Guanajuato	Maíz, trigo y cebada	250-100-0 280-150-90 NPK	Labranza de conservación.	Mejor fertilidad química con labranza conservación, acidificación en todos los tratamientos
Rivera Hernández <i>et al.</i>	2009	Campeche	Maíz	80-100 kg ha <sup>-1</sup> P	Diferentes concentraciones de fertilización con fósforo.	pH, humedad del suelo y cantidad de P
Bravo-Garza <i>et al.</i>	2009	Linares, Nuevo León	Maíz	No especificado	Labranza tradicional	Contenido de humedad y distribución de agregados.
Bravo-Garza <i>et al.</i>	2010	Noreste de México	Maíz	No especificado	No especificado.	Agregados estables en agua y MOP
Rivera Hernández <i>et al.</i>	2010	Campeche	Maíz	80-100 kg ha <sup>-1</sup> P	Diferentes concentraciones de fertilización con fósforo y contenidos de humedad.	Humedad del suelo y fertilización con Fosfato
Gutiérrez-Rodríguez <i>et al.</i>	2012	Valle Toluca, Edo. México	Trigo	No especificado	Efecto de rodaje de tres tipos de tractores agrícolas.	Aumento de la resistencia a la penetración.

<sup>4</sup>Laird, R. J., G. Rodríguez, H. y B. A. Ruiz. 1985. Respuesta del maíz de temporal a la fertilización en los Vertisoles de El Bajío, México. En: J. F. Ruiz F., B. Ortiz V. y C. A. Ortiz S. (eds.). *México: Memorias de la 1a. Reunión sobre manejo de suelos arcillosos y su implicación en la agricultura*. Celaya, Gto., México.

### Imagen 3. Principales investigaciones realizadas en Vertisoles, en México

Fuente: (Torres *et al.*, 2016)

## 2.4. Vulnerabilidad ambiental

En la actualidad y desde tiempo atrás se han establecido diversas definiciones acerca del concepto de vulnerabilidad puesto que ha sido utilizado en muchos campos de estudio. Sin embargo, el concepto apareció desde las ciencias sociales introducido como respuesta a la percepción solamente del riesgo de desastre en los años setenta (Schneider Bauer y Ehrlich, 2004 en Birkmann, 2006).

Autores como Clark *et al.*, 2000 en CEPAL, (2001) consideran la vulnerabilidad un concepto multidimensional que incluye los siguientes elementos de análisis: a) Exposición: el grado en el cual un grupo humano o ecosistema entra en contacto con un riesgo particular, b) Sensibilidad: el grado en el cual una unidad de exposición es afectada y c) Resiliencia: capacidad para resistir o recuperarse del daño asociado con la convergencia de presiones múltiples.



En tiempos más recientes de acuerdo con la UNISDR, (2009) se define como las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza. Surge de diversos factores físicos, sociales, ambientales y económicos que varían dentro de cada comunidad y a lo largo del tiempo en función de la susceptibilidad.

Empero, dentro de las problemáticas actuales se pueden establecer diferentes tipos de vulnerabilidades sociales, económicas, políticas o ambientales. En este sentido dentro del presente trabajo se aborda la vulnerabilidad ambiental debido a que el capital natural es esencial para sostener todas las formas de vida (Nadal, *et al.*, 2011).

La vulnerabilidad ambiental surge vinculada a la ocurrencia de desastres naturales como el grado en el cual un sistema es susceptible o incapaz de hacer frente, a efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y eventos extremos (IPCC, 2009).

Autores como Cutter *et al.*, 2003 y Carrenón *et al.*, 2005 en Birkmann, (2006) comparten que la vulnerabilidad ambiental no solo concierne a los impactos de un evento peligroso. Sino que debe considerarse como una aproximación tanto de las circunstancias ambientales como de las sociales haciendo de esta manera que las comunidades hagan frente a los impactos peligrosos, pero reconociendo las interrelaciones.

Otros autores señalan que la vulnerabilidad ambiental es la propensión interna específica de un ecosistema o de algunos de sus elementos a sufrir daños cuando se presenta una determinada fuerza o energía potencialmente destructiva (Vargas, 2001 en CEPAL, 2001).

En síntesis se puede establecer que dentro de los conceptos existen dos vertientes a dirigir a partir de la concepción de vulnerabilidad ambiental por una parte aquella que evalúa los efectos directos sobre el ecosistema y por otra como los efectos en el ecosistema van a tener consecuencias sobre las poblaciones.

Es por esto por lo que se plantea a la vulnerabilidad ambiental dentro de este trabajo como el conjunto de amenazas tanto naturales como de origen humano a las que se encuentra expuesto un ecosistema en donde el grado de sensibilidad puede disminuir su capacidad

natural de resiliencia dando como resultado una afectación importante a los recursos naturales y a la vida de las comunidades que la rodean.

## **2.5. Variabilidad climática**

A lo largo de toda la historia geológica el planeta ha estado en constantes cambios los cuales han determinado el clima, en periodos de miles e incluso millones de años (Gregory *et al.*, 2008). No obstante, esta variabilidad climática en la actualidad en menos de dos siglos ha tenido drásticas modificaciones en el clima, debido al impacto sobre todo de las actividades humanas (SEMARNAT, 2016).

Por consiguiente, estas fluctuaciones en el clima han causado múltiples impactos tanto en los sistemas naturales como en los humanos a lo largo de todo el planeta. Empero, la evidencia de los impactos del cambio en el clima es más sólida y completa para los sistemas naturales. Se evidencia que el calentamiento en el sistema climático es inequívoco y que desde la década de 1950 muchos de los cambios son sin precedentes en los últimos decenios a milenios (IPCC, 2014).

De acuerdo con la NASA (2013) el primer decenio del siglo XXI fue el más caluroso que se haya registrado jamás, y los años 2005 y 2010 fueron los años en que se registraron las temperaturas más altas. Es así como en 2012 el Banco Mundial advirtió que la temperatura del planeta iba camino de aumentar 4 °C provocando efectos devastadores como, olas de calor extremo, disminución de las existencias alimentarias mundiales y aumento del nivel del mar y, en última instancia, graves riesgos para los sistemas vitales para el sustento del ser humano (Gerber *et al.*, 2013).

Lo cual resulta con peligrosas consecuencias al agravar las condiciones de vida de las poblaciones, pero sobre todo de las personas pobres por el impacto en los medios de subsistencia como la reducción en los rendimientos de los cultivos y la destrucción de sus hogares, así como el aumento de la inseguridad alimentaria y falta de disponibilidad de agua (IPCC, 2013; 2014).

## 2.6. Vulnerabilidad ambiental a través de la salud del suelo

México por sus características geográficas es muy sensible a los impactos en las variaciones en la precipitación y la temperatura como son: lluvias intensas, tormentas tropicales, ciclones, huracanes y sequías (SEMARNAT, 2016). Lo que aumenta la vulnerabilidad y la exposición de los sistemas ecológicos a las amenazas relacionadas con el clima (IPCC, 2014a).

Aunado a lo anterior los ecosistemas se han modificado y afectado por las acciones de las actividades humanas por el cambio en el uso del suelo y la deforestación. Lo cual en conjunto con las variaciones en el clima producen efectos como la pérdida de la biodiversidad (Kloster & Masera, 2000; Mas *et al.* 2004 en Reyes Hernández *et al.*, 2006).

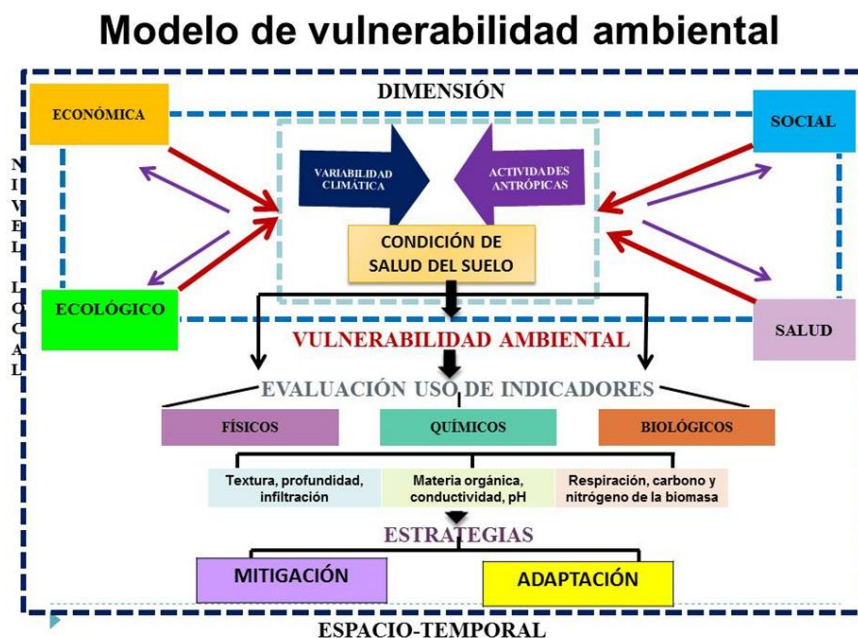
En el caso de los suelos los cambios en los patrones de temperatura y lluvia pueden tener grandes impactos en los procesos que tienen lugar como erosión, desertificación y disminución de los servicios ecosistémicos. Así mismo la conversión constante de pastizales y bosques en tierras de cultivo y de pastoreo durante los últimos siglos ha resultado en pérdidas históricas de carbono en el suelo en todo el mundo lo cual ha contribuido al cambio climático al liberar altas concentraciones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (FAO, 2015).

Sumado a lo anterior al suelo no se le considera aún en las agendas políticas como un recurso ambiental y patrimonial de primer orden debido a que al no ser un bien directamente consumible como en el caso del agua y por la percepción de que el suelo es un recurso renovable en la escala de tiempo humana si bien estimaciones señalan que un centímetro de espesor puede tardar en formarse alrededor de 100 años (Zinck, 2005; Guevara *et al.*, 2012; Gardi *et al.*, 2014; FAO, 2015 en SEMARNAT, 2015).

Es por tanto preciso el establecimiento de técnicas de evaluación para diagnosticar la situación actual del suelo ya en el Marco de Acción de Hyogo 2005-2015 se establece que es necesario el conocimiento de los riesgos físicos, sociales, y las vulnerabilidades medioambientales a los impactos a que se enfrenta la mayoría de las sociedades, y de las formas en que están cambiando a corto y largo plazo. Se hace hincapié en la necesidad de desarrollar indicadores de vulnerabilidad como una "actividad clave".

Por tal motivo la evaluación de este trabajo se centra en el estudio de la vulnerabilidad ambiental en relación con la salud del suelo como factor determinante para la vida a continuación se presenta el modelo para el trabajo en el cual se considera la importancia de la salud del suelo dentro de los ecosistemas (Imagen 4).

El modelo establece que existen actividades humanas y amenazas climáticas que afectan a los sistemas socioambientales y viceversa que intervienen sobre la condición de salud del suelo y que generan múltiples vulnerabilidades. Para este modelo no obstante se aborda la vulnerabilidad ambiental en donde se considera que mediante el uso de indicadores que midan su estado en este caso físicos, químicos o biológicos se puede generar un diagnóstico del suelo que sienta las bases para posterior generar propuestas que conduzcan a procesos de adaptación y mitigación con respecto al suelo en la comunidad de Nuevo Aquismón que presenta variabilidad climática extrema.



**Imagen 4. Modelo de Vulnerabilidad Ambiental**

Fuente: (Elaboración propia)

## **CAPÍTULO 3**

---

### **3. JUSTIFICACIÓN**

La comprensión de la vulnerabilidad ambiental de una determinada región es necesaria para entender con precisión la susceptibilidad o resistencia de los sistemas socioambientales respecto a su problemática ambiental y como se manifiesta la vulnerabilidad (Pérez, 1998). La capacidad de medirla se considera cada vez más como un paso clave hacia la reducción efectiva del riesgo y la continua degradación del ambiente (Kasperson *et al.*, 2005).

En el caso del suelo de acuerdo con SEMARNAT (2015) históricamente el suelo en México ha sido y es un recurso natural poco atendido por los gobiernos y la población, no obstante, la importancia que tiene como un elemento central para la producción de alimentos y otras funciones importantes.

Para los Vertisoles aunque se han realizado investigaciones en México, estas se han generado principalmente en campos experimentales (Torres G *et al.*, 2016). Por lo tanto, tal como señalan los autores, la degradación que presentan la mayoría de ellos en más de 66%, justifica la necesidad de realizar un diagnóstico para el eficiente manejo de estos sobre todo a escalas más locales (Moncada *et al.*, 2013 en Torres G *et al.*, 2016).

Específicamente en Tamuín queda de manifiesto la interacción entre amenazas naturales y humanas que impactan al suelo y generan vulnerabilidad ejemplo de esto son las enormes pérdidas de selva en Tamuín y otros municipios de SLP de 98, 700 ha a solo 10,200 ha de selva fragmentada por la implementación de proyectos mal planificados que no consideraron el tipo de suelo predominante en la región ( Reyes Hernández *et al.*, 2006).

Así mismo en el tema de amenazas naturales en Tamuín se tiene que de 1970 a 2013 y recientemente se han registrado más de 24 fenómenos hidrometeorológicos (DesInventar, 2017; Castro, 2016; 2018). Además que el municipio presentó tendencias al aumento de las precipitaciones más elevadas (Domínguez Cortinas, 2016).

Todo lo cual repercute en la comunidad de Nuevo Aquismón donde, se recalca la importancia de la evaluación del suelo debido a que de acuerdo con cédulas de información realizadas a 51 familias (n=189 personas) se encontró que la principal actividad para la

obtención de recursos económicos es a través del suelo con 28.57% de la población que trabaja en actividades agropecuarias (Diego Rodríguez, 2017).

La evaluación de la salud del suelo permitirá entonces generar un diagnóstico sobre su condición actual para la adopción de medidas posteriores que disminuyan los impactos sobre el mismo y que mejoren su calidad de vida al mismo tiempo que aumenten la resiliencia de la comunidad ante el cambio climático al ser una comunidad que presenta variabilidad climática extrema (FAO, 2015b; Domínguez Cortinas, 2016).

Ya que los suelos sanos pueden jugar un papel importante en la mitigación del cambio climático a través del almacenamiento de carbono y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en la atmósfera (SEMARNAT, 2016).

## **CAPÍTULO 4**

---

### **4. HIPÓTESIS**

La condición de salud del suelo es un indicador de vulnerabilidad ambiental que permite identificar y evaluar condiciones de vulnerabilidad ambiental en la comunidad de Nuevo Aquismón.

### **5. OBJETIVOS**

#### **5.1. Objetivo general**

Realizar un diagnóstico de la condición de salud del suelo como un indicador de vulnerabilidad ambiental en la comunidad de Nuevo Aquismón que se encuentra en regiones de variabilidad climática extrema que sienta la base para posteriormente diseñar estrategias de mitigación y adaptación.

#### **5.2. Objetivos específicos**

- Elaborar y aplicar de cédulas de información ambiental a familias en la comunidad de Nuevo Aquismón.
- Caracterizar la salud del suelo a través del análisis de sus propiedades, físicas y químicas en la comunidad de Nuevo Aquismón que presenta variabilidad climática extrema en la Huasteca Potosina.
- Integrar la información en un diagnóstico de la condición de salud del suelo de la comunidad de Nuevo Aquismón en el municipio de Tamuín en la Huasteca Potosina.

## CAPÍTULO 5

---

### 6. METODOLOGÍA

#### 6.1. Descripción de los sitios de estudio

La selección de las comunidades a trabajar fue a partir del proyecto Evaluación de la Vulnerabilidad asociada a Riesgos Climáticos y Meteorológicos en comunidades marginadas de las regiones del Altiplano, Planicie Costera y Sierra Madre Oriental del estado de San Luis Potosí UASLP-SEMARNAT-CONACYT.

Se partió de un diagnóstico previo en el cual se determinaron regiones con riesgos climáticos y meteorológicos en San Luis Potosí a partir de una síntesis de diferentes tipos de regionalización: orográfica, geomorfológica, hidrológica, vegetación y uso de suelo y climática. Se analizó además una serie de tiempo de 1996-2010 de las variables de temperatura máxima, mínima y precipitación de 106 estaciones meteorológicas del estado. Así como también se recolectó información socioeconómica, sociodemográfica, socioambiental y sanitaria, para evaluar sus niveles de pobreza y marginación, rezago en el desarrollo social y su problemática ambiental y sanitaria (Tabla 4).

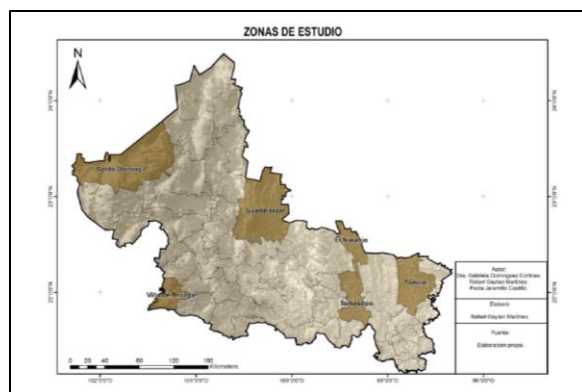
**Tabla 4. Proceso para la selección de las Unidades de Riesgos Climáticos y Meteorológicos en el estado de San Luis Potosí.**

<b>Proceso para la selección de las Unidades de Riesgos Climáticos y Meteorológicos</b>	
<b>Delimitación espacial de las unidades de estudio:</b>	1) Región Altiplano 2) Región Sierra Madre Oriental
<b>Regionalización</b>	3) Región Planicie Costera Nororiental
<b>Caracterización cuantitativa de las tendencias de los principales patrones espaciales y temporales de las variables meteorológicas</b>	1)Temperatura máxima 2)Temperatura mínima 3)Precipitación Todos los datos climáticos fueron analizados a través del método de mínimos cuadrados para establecer valores de tendencia lineal a una escala local de alta resolución.
<b>Selección y caracterización socioeconómica y demográfica de las poblaciones de estudio</b>	Unidades territoriales homogéneas y de alta resolución espacial, cuya circunscripción territorial fuera correspondiente con Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) rurales o urbanas.

Fuente: (Domínguez Cortinas, 2016)



Los resultados del diagnóstico mostraron que seis municipios presentaron condiciones que los hacen vulnerables (Imagen 5) (Domínguez Cortinas, 2016).



**Imagen 5. Sitios de estudio dentro del proyecto**

Fuente: (Domínguez Cortinas, 2016)

A partir del cálculo de las tendencias de la temperatura máxima, mínima y precipitación se identificaron ocho patrones climáticos siendo los cuatro más importantes dada su prevalencia en el 74% de los municipios los siguientes (Domínguez Cortinas, 2016):

- 1) Días y noches más calientes con más lluvia 24% de los municipios
- 2) Días y noches más fríos con más lluvia 20% de los municipios
- 3) Días más calientes y noches más frías con más lluvia 19% de los municipios
- 4) Días más fríos, noches más calientes y más lluvia 11% de los municipios

De esta manera quedaron determinados los municipios de estudio en la Tabla 5:

**Tabla 5. Patrones climáticos en los municipios de estudio**

Municipio	Patrón climático
<b>Santo Domingo</b>	Presentó las tendencias positivas más altas mayor número de días más cálidos y mayores tendencias negativas para mayor número de noches más frías.
<b>Villa de Arriaga</b>	Las mayores tendencias positivas mayor número de noches más cálidas
<b>Guadalcázar</b>	Las mayores tendencias positivas mayor número de noches más cálidas y tendencias de precipitación más bajas tendencias negativas.
<b>El Naranjo</b>	Las mayores tendencias negativas mayor número de noches más frías y tendencias de precipitación más bajas tendencias negativas.
<b>Tamasopo</b>	Mayores tendencias negativas mayor número de noches más frías
<b>Tamuín</b>	Tendencias al aumento de la precipitación más elevadas.

Fuente: (Domínguez Cortinas, 2016)

Posteriormente, para la selección de las comunidades se aplicaron criterios de selección: localidades con población entre los 350 y 1200 habitantes, ubicación en un radio de 5 km a 8 km lineales con respecto a una estación meteorológica y una diferencia altitudinal inferior a 50 m, correspondencia de localización en una de las subcuencas hidrológicas definidas. Los criterios de exclusión fueron: aspereza del terreno, ubicación geográfica de las localidades en cañadas, valles, estrechamente rodeados por serranías u otras condiciones que afectaran la representatividad de la información climática, estación meteorológica de referencia con una serie de datos no menor a 30 años de antigüedad y ubicación o dispersión de la población en condiciones de poca accesibilidad (Tabla 6).

**Tabla 6. Comunidades seleccionadas dentro del proyecto.**

<b>Municipio</b>	<b>Comunidad</b>
<b>Santo Domingo</b>	Santa Matilde, Illescas
<b>Villa de Arriaga</b>	Santa Rosa de Gallinas, San Francisco
<b>Guadalcázar</b>	El Huizache, Buena Vista
<b>El Naranjo</b>	El Sabinito, Minas Viejas
<b>Tamasopo</b>	El Chino, Cuesta Blanca
<b>Tamuín</b>	Las Palmas, Ejido Velazco, Nueva Primavera, Nuevo Aquismón

Fuente: (Domínguez Cortinas, 2016)

Una vez obtenidas las comunidades se hicieron visitas de campo, se llevó a cabo una reunión con las autoridades y se les comunicó el proyecto y sus objetivos (Imagen 6).



**Imagen 6. Reunión con las comunidades**

Fuente: (Imagen propia)

Conjuntamente se acordó una reunión con la comunidad en donde se les habló sobre el proyecto y se les invitó a participar de manera voluntaria en esta misma reunión se firmaron

las cartas de consentimiento informado y se dieron a conocer los cronogramas de actividades (Anexo 1).

Para el presente trabajo se eligió la comunidad de Nuevo Aquismón en el municipio de Tamuín debido a que dicha comunidad decidió participar dentro del proyecto. A continuación, se presenta la información relevante al municipio de Tamuín, así como de la comunidad. En la Imagen 7 se aprecia que el municipio de Tamuín es uno de los que presenta mayor tendencia al aumento de la precipitación más elevada.



**Imagen 7. Tendencias de la precipitación total por municipio en el período de 1996-2010 en el estado de San Luis Potosí**

Fuente: (Domínguez Cortinas, 2016)

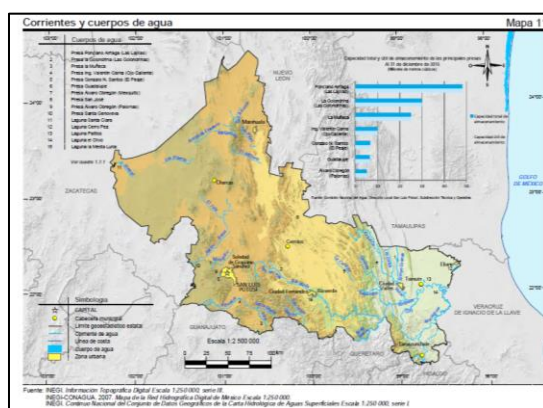
### 6.1.1. Tamuín

El municipio se encuentra ubicado en las coordenadas 22°00'14 latitud norte y 98°46'30 latitud oeste a 23 msnm. Colinda al norte con Tamaulipas, al este con el municipio de Ébano, y al sureste con San Vicente Tancuayalab y el estado de Veracruz; al sur con Tanlajás y al oeste con el municipio de Ciudad Valles. Tiene una población total de 37, 956 habitantes, con grado de marginación medio. Pero cuenta con localidades de alta y muy alta marginación, el 57.44% de la población vive en pobreza (SEDESOL, 2013; SEMARNAT, 2014; INEGI, 2016).

El municipio participa de un Área Natural Protegida debido a que un 10% de la Reserva de la Sierra del Abra Tanchipa se encuentra en su territorio (SEMARNAT, 2014; INEGI, 2016). Está en una gran planicie y presenta pendientes de suaves a planas (INEGI, 2016).

### 6.1.1.1. Corrientes y cuerpos de agua

Es atravesado en su parte central por el río Tropaón y se une al río Moctezuma para formar el río Pánuco que desemboca en el golfo de México (Imagen 8). También se localizan en esta región las lagunas: Los Patitos, Tansey, Brasil, San José del Limón, Palmas Cortadas y Mirador (INAFED, 2017).



**Imagen 8. Corrientes y cuerpos de agua en el municipio de Tamuín**

Fuente: (INEGI, 2016)

### 6.1.1.2. Clima

El 96.48% de la superficie pertenece a la zona ecológica del trópico húmedo, sus climas predominantes son Awo (79.04%) y Aw1 (20.03%). Tiene un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano su precipitación pluvial es de 882.8 mm (Tabla 7) (INEGI, 2016).

**Tabla 7. Precipitación total mensual del municipio de Tamuín.**

Precipitación total mensual (Milímetros)		Cuadro 1.6.3.1											
Estación Concepto	Periodo	Mes											
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Tamuín	2015	46.4	12.3	183.1	39.0	52.5	131.3	69.7	169.7	192.5	100.8	89.2	2.7
Promedio	De 1975 a 2015	25.0	20.4	17.8	33.2	76.6	151.6	198.0	135.0	196.6	93.7	28.1	26.6
Año más seco	1982	5.6	26.0	8.3	19.3	134.0	37.1	23.4	13.2	99.4	89.0	13.1	27.3
Año más lluvioso	2008	6.3	9.5	1.3	14.2	55.1	197.6	511.3	215.3	429.9	187.8	28.4	3.5

Fuente: (INEGI, 2016)

El promedio de la temperatura anual es de 25.8°C, con una máxima de 48.5°C y una mínima de 7°C la temperatura cálida corresponde a los meses de abril a septiembre y el

período frío de octubre a marzo (SEDESOL, 2013; INAFED, 2017). La temperatura promedio fue de 25.4°C del periodo de 1975-2015 (Tabla 8) (INEGI, 2016).

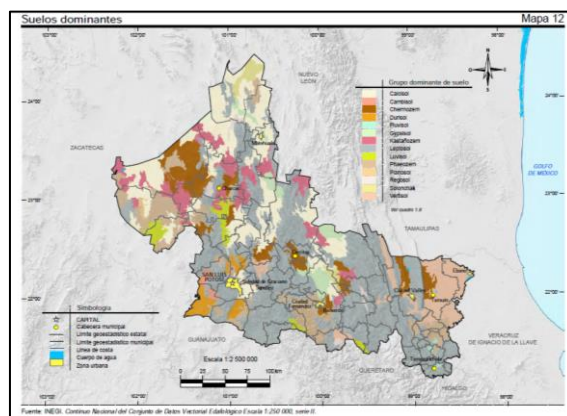
**Tabla 8. Temperatura media anual del municipio de Tamuín**

Temperatura media mensual (Grados Celsius)		Cuadro 1.6.2.1											
Estación Concepto	Periodo	Mes											
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Tamuín	2015	17.8	20.4	23.2	29.2	30.1	30.5	30.4	32.3	30.6	29.0	25.8	22.7
Promedio	De 1975 a 2015	19.2	20.7	24.1	27.1	29.3	29.7	28.8	29.1	28.0	25.9	22.6	20.0
Año más frío	1976	16.4	18.9	23.3	25.3	26.1	27.4	25.7	26.4	26.5	21.8	16.7	15.6
Año más caluroso	2015	17.8	20.4	23.2	29.2	30.1	30.5	30.4	32.3	30.6	29.0	25.8	22.7

Fuente: (INEGI, 2016)

### 6.1.1.3. Grupo de suelo

Por su formación los suelos son aluviales y por su edad ligeros y moderadamente desarrollados predominan los suelos arcillosos oscuros, que suponen un buen contenido de material orgánico; (INAFED, 2017). Tienen un estrato geológico de lutitas del cretácico superior y lutitas areniscas terciarias. Predominan los suelos Vertisol Pélico en 80% en la región de la Llanura Costera a la cual pertenece Tamuín (Imagen 9) (INEGI, 2007a).



**Imagen 9. Suelos dominantes en el estado de San Luis Potosí.**

Fuente: (INEGI, 2016)

Los Vertisol del latín verteré (invertir) son suelos de más de 25 cm de profundidad, contienen más de 30% de arcillas en los primeros 50 cm de profundidad y se mezclan constantemente por procesos de expansión y contracción dando como resultado grietas

profundas en la estación seca, caras de deslizamiento (slickensides) y agregados en forma de cuña (Soil Survey Staff, 2014 en Torres G et al., 2016).

Las condiciones ambientales que conducen a la formación de un horizonte vértico son una precipitación suficiente para permitir el intemperismo de los materiales parentales, pero no tan alta como para producir lixiviación de bases; además de periodos secos, drenaje restringido y altas temperaturas (ISRIC, 2013 en Torres G et al., 2016).

Su alto contenido de arcillas que se expanden con la humedad y se contraen con la sequía, puede ocasionar grietas en esta última temporada. Haciendo que, aunque sean muy fértiles, también sean difíciles de trabajar debido a su dureza durante el estiaje y a que son muy pegajosos en las lluvias y con alto riesgo de salinización (Imagen 10). Por lo tanto, presentan problemas de saturación y encharcamiento de agua cuando están húmedos y de endurecimiento y agrietamiento cuando están secos (Brady y Well, 2002; ISRIC, 1994 en Reyes Hernández et al., 2006; INEGI, 2007; SEMARNAT, 2015).



**Imagen 10. Vertisol de la comunidad de Nueva Primavera con grietas superficiales durante el estiaje.**

Fuente: (Imagen propia)

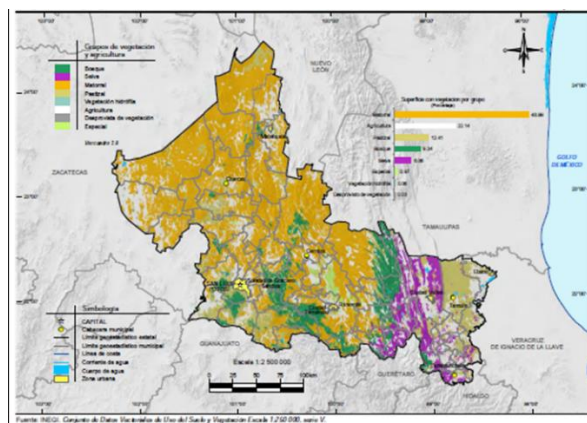
Algunas de sus características se presentan en la Tabla 9:

**Tabla 9. Características de los Vertisoles**

<b>Características de los Vertisoles</b>
Se originan a partir de rocas ígneas o sedimentarias por meteorización o sedimentación donde se acumulan arcillas 2:1.
Son suelos profundos, de color oscuro, con horizontes superficiales ricos en materia orgánica
El microrelieve gilgai es peculiar en estos suelos, aunque no se encuentra comúnmente
Se localizan sobre todo en depresiones y áreas planas a onduladas, en climas tropicales, subtropicales, semiáridos a subhúmedos y húmedos, con alternancia entre estación seca y húmeda.
La vegetación predominante es de sabana, bosque o pastizal
El suelo tiene muy baja permeabilidad es muy susceptible a encharcamiento, problemas de mal drenaje y acumulación de sales de Ca y Na.
Textura fina arcilloso-limosa con estructura en bloques angulares y subangulares
La porosidad de estos suelos es elevada por la gran cantidad de microporos
El pH tiende a la neutralidad con variaciones de ligeramente ácido a ligeramente alcalino, normalmente en un rango de 6.0 a 8.0.
Se presenta una alta incidencia de daño mecánico y muerte en las raíces por efecto de la trituration a que son sometidas cuando el suelo se seca.
A nivel mundial los Vertisoles cubren 335 millones de ha se presentan principalmente en los trópicos semiáridos, con una precipitación media anual de 500-1000 mm.
Fuente: Adaptado de ( Jaramillo, 2002; Blokhuis, 1982 en Llorente, 2004; Coulombe <i>et al.</i> , 2000 en Torres G <i>et al.</i> , 2016; Torres G <i>et al.</i> , 2016; Pal <i>et al.</i> , 2012.)

**6.1.1.4. Uso de suelo y vegetación**

El uso es principalmente pecuario pastizal cultivado (77.11%), agricultura de riego (10.74%) y agricultura de temporal (6.56%) (Imagen 11) (Tabla 10) (SEDESOL, 2013; INAFED, 2017). Su uso potencial agrícola es agricultura mecanizada y su uso pecuario es praderas cultivadas (INEGI, 2016).



**Imagen 11. Uso de suelo y vegetación en el municipio de Tamuín**

Fuente: (INEGI, 2016)

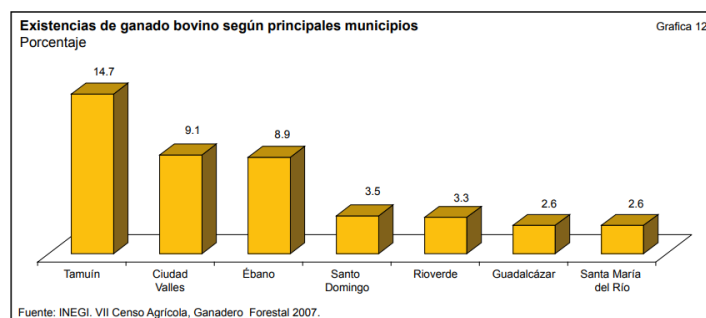
**Tabla 10. Superficie sembrada en Tamuín principales cultivos para el año 2010**

Actividades primarias	Tamuín	San Luis Potosí
	Superficie (ha)	
<b>Total sembrada</b>	41,568	803,092
<b>Sorgo grano</b>	18,621	68,042
<b>Pasto</b>	8,750	65,644
<b>Maíz</b>	1,918	268,851
<b>Frijol</b>	887	134,475

Fuente: (SAGARPA, 2010)

La producción de pasto cultivado de 2007 en el estado fue de 2,290,494, uno de los municipios que hicieron las mayores aportaciones al volumen fue Tamuín con 21.2% del total (INEGI, 2007a).

Respecto a la ganadería bovina las razas descienden casi todas de dos especies *Bos taurus* que incluye los tipos europeos y *Bos indicus* al cual pertenece el ganado cebuino. De acuerdo con el censo agropecuario de 2007 de las 800,711 cabezas en el estado al municipio de Tamuín correspondieron el 14.7% el primer lugar (Imagen 12).



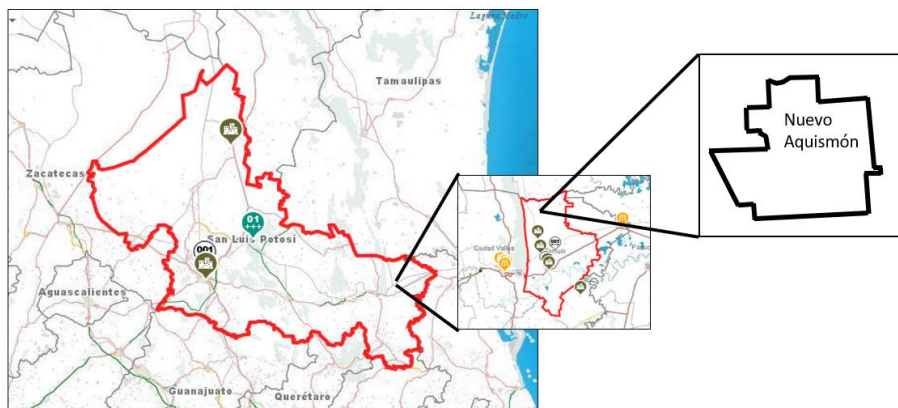
**Imagen 12. Existencias de ganado bovino según principales municipios**

Fuente: (INEGI, 2007a)

#### 6.1.1.5. Comunidad de estudio Nuevo Aquismón

Tiene una población total de 681 habitantes, de los cuales 353 son hombres y 328 mujeres, su grado de marginación es alto y su grado de rezago social medio; cuenta con 163 viviendas particulares habitadas (Imagen 13) (SEDESOL, 2013).





**Imagen 13. Localización de la comunidad en el municipio de Tamuín**

Fuente: (INEGI, 2017)

Así mismo se encontró que la comunidad tiene carencias en infraestructura básica (n=51 viviendas) 86.27% tienen letrinas, 68.63% carecen de alumbrado público, el 100% de estas necesitan drenaje y pavimentación en sus calles (Diego Rodríguez, 2017).

## **6.2. Evaluación de la salud del suelo**

El tipo de investigación fue exploratorio descriptivo y el diseño de la investigación utilizado fue transversal y de campo.

### **6.2.1. Recolección y análisis de muestras**

Se recolectaron 45 muestras del sitio de estudio. Para delimitar las áreas a muestrear se utilizaron los siguientes criterios: a) tipo de suelo Vertisol; b) uso de suelo pastizal cultivado; y c) topografía de llanura. Los cuadrantes tuvieron una superficie de 25 ha, por lo tanto, la superficie total de cada área fue dividida entre el tamaño de los cuadrantes y una vez obtenidos todos los puntos se realizó un muestreo aleatorio simple con el objetivo de tener una mejor representatividad (Imagen 14). La superficie total fue de 3,125.74 ha; el periodo de muestreo fue en los meses de marzo y mayo de 2018.



**Imagen 14. Puntos de muestreo para Nuevo Aquismón en el municipio de Tamuín**

Fuente: (Elaborado a partir de Google Earth, 2018)

La toma de muestras en campo fue junto con un ingeniero agroecólogo, el recorrido fue hecho en compañía del juez de la comunidad el señor Eulalio San Martín Padierna. Anterior a esto nuevamente se llevó a cabo una reunión con la comunidad para informarles del muestreo y para contar nuevamente con su aprobación hecho esto se tuvo autorización para acceder a muestrear los puntos (Imagen 15).



**Imagen 15. Toma de muestra**

Fuente: (Imagen propia)

El muestreo se realizó a una profundidad de 30 cm se limpió la superficie del suelo, se realizó un hoyo, posterior se extrajo la muestra tratando de obtenerla completa, una vez realizado esto se recolectaron en una bolsa de plástico con capacidad de dos kilogramos, las

cuales fueron etiquetadas (clave de identificación, localización, fecha y uso de suelo) y almacenadas hasta su posterior análisis para evitar interferencias como el efecto de factores de la humedad exterior y otros materiales que pudieran cambiar la naturaleza de la muestra (Imagen 16).



**Imagen 16. Proceso para la recolección de la muestra de suelo**

Fuente: (Imagen propia)

Así mismo se levantó una cédula de información ambiental para obtener información sobre los tipos de actividades que desarrollan ganadera, agrícola, uso de plaguicidas, fertilizantes, destino de la producen, problemas de sequías, inundaciones entre otras cuestiones.

El análisis de las muestras de suelo se llevó a cabo en el laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí en los meses de junio y julio del 2018.

En el laboratorio las muestras de suelo fueron preparadas para los análisis correspondientes. Primero, fueron secadas a la sombra con el objetivo de facilitar el manejo de la muestra, mejorar la homogeneización y disminuir los cambios químicos indeseables. Posterior se realizó su molienda y enseguida el tamizado con una malla de 2 mm de diámetro y otra de 0.25 mm; nuevamente fueron homogeneizadas para la posterior determinación de los análisis físicos y químicos (Imagen 17) (NOM-021-SEMARNAT-2000).

Todos los parámetros fueron evaluados de acuerdo con la NOM-021-SEMARNAT-2000 Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.



**Imagen 17. Secado y tamizado de muestras**

Fuente: (Imagen propia)

Para los parámetros de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio todos los análisis se realizaron por duplicado. Enseguida se presentan los métodos de determinación para cada parámetro.

#### **6.2.1.1. Método del hidrómetro para determinar la textura**

Para medir la textura se pesó 50 gr de suelo libre de materia orgánica para lo cual previamente fue tratada con 15- 20 ml de peróxido de hidrogeno para eliminarla, una vez hecho esto se dejó secar el suelo durante 24 horas a una temperatura de 80°C posterior las muestras se colocaron en un vaso de batidora mecánica y se agregó 5 ml de metasilicato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) y 5 ml de solución de oxalato de sodio ( $\text{COONa}$ )<sub>2</sub>. Posterior se aforó con agua de la llave hasta la segunda ranura del vaso y se agitó durante 10 minutos. Se pasó la solución a una probeta de 1 L y se aforó a 1 L con agua de la llave. Se agitó durante 1 minuto la probeta con la suspensión del suelo. Se dejó reposar durante 40 segundos y se tomó la primera lectura con el hidrómetro introduciéndolo sin mover, se tomó así mismo la temperatura. Se dejó reposar 2 horas y se tomó la segunda lectura con el hidrómetro y se midió la temperatura (Imagen 18).



**Imagen 18. Medición de la textura**

Fuente: (Imagen propia)

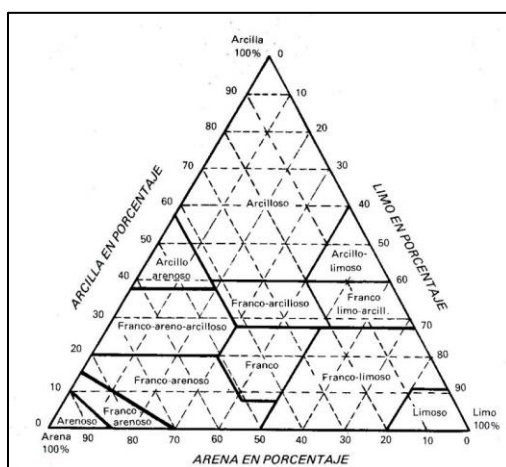
De acuerdo con los valores de temperatura se agregó como factor de corrección 0.2 a las lecturas por cada grado centígrado después de 20 °C se realizaron los cálculos con las fórmulas siguientes:

$$\% \text{ de limos} + \% \text{ de arcillas} = \frac{\text{primera lectura}}{\text{g de suelo}} \times 100$$

$$\% \text{ de arenas} = 100 (\% \text{ de limos} + \% \text{ de arcillas})$$

$$\% \text{ de limos} = (\% \text{ de limos} + \% \text{ de arcillas}) - \% \text{ arcillas}$$

Con los porcentajes obtenidos se determinó la clase textural con el triángulo de texturas (Imagen 19):



**Imagen 19. Triángulo de texturas**

Fuente: (Muñoz *et al.*, 2015)

### 6.2.1.2. Método del puente de conductividad de Wheatstone

Para medir la conductividad eléctrica primero se preparó la pasta de saturación en donde se pesó 500 g de suelo y se colocó en un recipiente de plástico al que se le agregó agua destilada y se mezcló hasta saturarlo por completo, se asentó la pasta de vez en cuando golpeando el recipiente con cuidado una vez que la pasta estuvo saturada, se anotó el gasto de agua consumido en la saturación. Se dejó reposar la pasta durante 1 hora y se comprobó nuevamente si la saturación era la correcta, en el caso de estas muestras al hacer suelo muy arcilloso se dejó reposar durante 24 horas (Imagen 20).



**Imagen 20: Medición de la conductividad eléctrica**

Fuente: (Imagen propia)

Después del reposo se colocó un disco de papel sobre el embudo Buchner y se humedeció ligeramente con agua destilada. Se colocó el embudo sobre un matraz Kitasato asegurando bien el matraz y embudo. Se aplicó vacío y se esperó hasta obtener una alícuota de cuando menos 50 ml. Una vez terminada la extracción se pasó el extracto a una probeta de 250 ml. Se calibró el conductímetro y se leyó la conductividad y temperatura. Se hicieron las correcciones con base en la temperatura del extracto de acuerdo con un factor de corrección que se multiplicó por el resultado de la conductividad eléctrica.

### 6.2.1.3. Método de oxidación con ácido crómico y ácido sulfúrico

Para la materia orgánica se pesó 0.125 g de suelo debido al color muy oscuro y se colocó en un matraz Erlenmeyer, se agregó con una probeta 5 ml de solución de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ). En la campana de extracción se agregó 10 ml de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), se agitó 1 minuto se dejó reposar 30 minutos, posterior se agregó 50 ml de agua destilada y 5 ml de ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) (Imagen 21).



### Imagen 21. Medición de la materia orgánica

Fuente: (Imagen propia)

Para la titulación se añadió 5 gotas de indicador de fenilamina se tituló con sulfato ferroso ( $\text{FeSO}$ ) la secuencia de color al vire final fue negro, verde muy oscuro, azul y finalmente verde esmeralda. Se realizó un blanco para verificar la normalidad del sulfato ferroso por último se sustituyeron los resultados en la fórmula siguiente:

$$\text{Materia orgánica (\%)} = \frac{5 - (\text{ml de FeSO}_4 \times N \times \text{FC})}{\text{g de la muestra}} \times 0.69$$

5 = ml de dicromato de potasio agregados

N = normalidad del sulfato ferroso (0.05)

FC = factor de corrección

0.69 = constante

$$\text{FC} = \frac{10}{\text{ml de FeSO}_4 \text{ gastados en el blanco}}$$

#### 6.2.1.4. Método potenciométrico

Para el pH se utilizó el método del potenciómetro. Se pesaron 10 g de suelo, se colocaron en un vaso de 25 ml y se agregó 25 ml de agua destilada se agitó y se dejó reposar durante 30 minutos. Seguido se calibró el potenciómetro con las soluciones buffer de referencia, se lavó el electrodo y se introdujo en la solución, se esperó que la lectura se estabilizara y se registró la misma (Imagen 22).



**Imagen 22. Potenciómetro para medir pH**

Fuente: (Imagen propia)

#### **6.2.1.5. Método volumétrico para carbonatos**

Se pesó 10 g de suelo y se agregó 50 ml de agua destilada, posteriormente se agregó 0.1 g de carbón activado y se dejó reposar 5 minutos, enseguida se filtró y se tomó 10 ml del filtrado y se añadió 25 ml de agua destilada y 6 gotas de fenolftaleína. Se tituló para hacer el vire de incoloro a rosa mexicano (Imagen 23). Posterior se sustituyeron los resultados en la siguiente formula:

$$\text{Carbonatos (meq/ 100 g)} = \frac{\text{ml de HCl} \times N \times 100}{\text{g de la muestra}}$$

N = normalidad del ácido clorhídrico



**Imagen 23. Medición de carbonatos**

Fuente: (Imagen propia)



### 6.2.1.6. Potasio intercambiable método del espectrofotómetro de flama

Se preparó los estándares de potasio para construir la curva patrón (Imagen 24). Se encendió el flamómetro y se dejó calentar mínimo durante 1 minuto absorbiendo agua desionizada para que el sistema se limpiara. Se obtuvieron las lecturas para cada concentración de potasio (Imagen 25).

Tabla 15.1. Diluciones para construir la curva patrón de sodio y potasio

CONCENTRACIÓN (ppm)	mL DE SOLUCIÓN	mL DE ACETATO DE AMONIO 1. N pH 7.0
100	directa	0
80	80	Aforar a 100 mL
60	60	Aforar a 100 mL
40	40	Aforar a 100 mL
20	20	Aforar a 100 mL
10	10	Aforar a 100 mL
5	5	Aforar a 100 mL

**Imagen 24. Diluciones para construir la curva patrón de potasio**

Fuente: (Muñoz Iniestra *et al.*, 2015)



**Imagen 25. Medición del potasio**

Fuente: (Imagen propia)

### 6.2.1.7. Nitrógeno inorgánico

Se pesó 2.5 g de suelo y se colocaron en un bote de polietileno, se agregó 50 ml de cloruro de potasio ( $KCl_2$ ) y se agitó por 60 minutos en agitador de acción recíproca y posterior se filtró. Se colocó 10 ml de solución de ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) con indicador en un matraz Erlenmeyer de 125 ml y se conectó en un tubo de salida del refrigerante. Se agregó 10 ml

de extracto del suelo y se colocó en el tubo de destilación se agregó 0.2 g de óxido de magnesio (MgO) calcinado y 0.2 g de aleación de Devarda. Posterior se conectó el aparato de destilación hasta completar 30 ml (3-4 minutos). Seguido se tituló la muestra pasando de verde a rosa tenue. (Imagen 26)



**Imagen 26. Medición de nitrógeno inorgánico**

Fuente: (Imagen propia)

Se calculó la cantidad de nitrógeno inorgánico con la fórmula siguiente:

$$N \text{ (ppm)} = ((M-B) \times N \times 14 \times (V_i / a) \times 1/p \times 1000)$$

M y B = milímetros de ácido sulfúrico usados en la titulación de muestra y el blanco, respectivamente

N = La normalidad del ácido

$V_i$  = Es el volumen del extractante

a = la alícuota destilada

p = El peso de la muestra en gramos

#### **6.2.1.8. Densidad aparente método volumétrico**

Se pesó una probeta vacía y se le agregó suelo hasta completar 10 ml se golpeó ligeramente cinco veces sobre una franela y se agregó el suelo hasta completar los 10 ml. Se volvió a golpear ligeramente otras tres veces, se pesó la probeta más el suelo y se le restó el peso de la probeta vacía. Estos valores se sustituyeron en la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad aparente (g/cm}^3 \text{ o Kg/m}^3) = \frac{\text{Peso del suelo}}{\text{Volumen}}$$

### 6.2.1.9. Agua en suelo método gravimétrico

Para estos parámetros el punto de saturación fue obtenido del extracto de la pasta saturada usada para medir la conductividad eléctrica, de este se pudo obtuvo la capacidad de campo a través de la siguiente formula:

$$CC=(PS/1.84)-0.48$$

CC= Capacidad de campo

PS= Punto de saturación

Para el punto de marchitamiento permanente se utilizó la siguiente fórmula:

$$PMP=CC \times 0.595$$

PMP= Punto de marchitamiento permanente

CC= Capacidad de campo

Finalmente, la humedad aprovechable se obtuvo mediante la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitamiento permanente.

### 6.2.1.10. Fósforo extraíble

Se pesó 2.5 g de suelo; este se colocó en tubos de polietileno y se adicionó 50 ml de solución extractora se tapó y agitó la suspensión en agitador de acción recíproca durante 30 minutos a 180 oscilaciones por minuto. Se filtró inmediatamente a través de papel filtro. Se prepararon blancos a partir de alícuotas de solución extractora y adicionando todos los reactivos como en las muestras. Se tomó una alícuota de 10 ml y se colocó en un matraz aforado de 50 ml. Se agregó 5.0 ml de la solución reductora, se agitó y aforó. Se leyó después de 30 minutos a una longitud de onda 882 nm. Se preparó una curva de calibración con patrones de 0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1.0 mg L<sup>-1</sup> de P. Se pipeteó 0, 1, 2, 4, 6 y 10 ml de una solución de 5 mg L<sup>-1</sup> de P a matraces aforados de 50 ml.

Continuando se adicionó un volumen de solución extractante de bicarbonato de sodio (NaHCO<sub>3</sub>) 0.5 M igual a la alícuota empleada para medir en las muestras se llevó a aproximadamente 40 ml con agua y se adicionó 5 ml de la solución reductora con ácido ascórbico y aforó. Se agito nuevamente y se leyó después de 30 minutos a 882 nm, se leyó las muestras la formula fue la siguiente:

$$P \text{ (mg Kg-1 de suelo)} = CC \times V_i/p \times V_f/a$$

CC= mg L-1 de P en la solución. Se obtiene graficando la curva de calibración (absorbancia contra mg L-1) e interpolando en la misma los valores de absorbancia de las muestras analizadas a las cuales previamente se les ha estado el valor promedio de los blancos o por medio de una regresión simple.

$V_i$ = volumen de la solución extractora adicionada

$p$ = peso de la muestra de suelo seca al aire

$V_f$ = volumen final de la solución colorimétrica a leer

$a$ = alícuota de la muestra empleada para la cuantificación

## 6.2.2. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico primero se procedió a la elaboración de las bases de datos en una hoja de cálculo, Microsoft Excel versión 2010 para el manejo, análisis y tabulación de los datos del sitio de estudio con esto se elaboraron los estadísticos descriptivos media, mínimo, máximo, desviación estándar y frecuencias para obtener los porcentajes. Una vez realizado esto se compararon las mediciones de cada parámetro para evaluar si los resultados se encontraron por encima o por debajo de las condiciones adecuadas de los Vertisoles para cada parámetro.

## CAPÍTULO 6

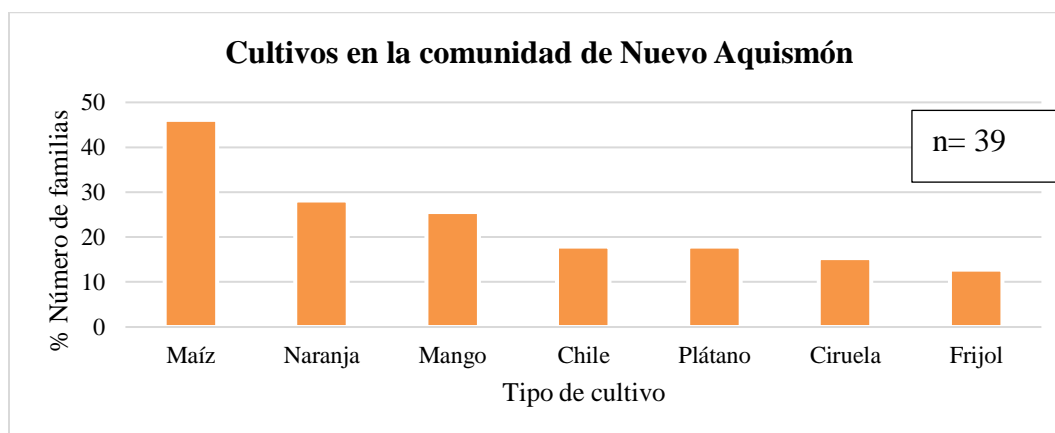
---

### 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los principales resultados emanados de las cédulas de información aplicadas a 39 familias de la comunidad de Nuevo Aquismón fueron los siguientes:

#### 7.1. Sistema de producción de alimentos

Con respecto a los sistemas de autoabasto, se identificó a un 79 % de familias con un espacio destinado para la producción de cultivos ya sea solar, traspatio o parcela teniendo cultivos como el maíz, naranja, mango entre otros (Figura 3).



**Figura 3. Cultivos presentes en la comunidad de Nuevo Aquismón**

El 87 % de las familias contaron con animales destinados a la producción de alimentos los principales fueron las aves de corral con un promedio de 15.05 animales por familia y los cerdos con 3 animales en promedio.

El 82 % de las familias consideró que el suelo ya no es bueno para cultivar las causas que plantearon fueron relacionadas con la falta de lluvias, la falta de buena preparación del suelo, la falta de abonos para mejorarlo y el uso que se le dio en el pasado antes de la llegada de los pobladores. Además 51.28% de las familias indicaron la presencia de plagas en sus cultivos resultado de las causas antes señaladas.

## 7.2. Percepción climática

Con respecto a la percepción de las condiciones climáticas prevalecientes en la comunidad el 46 % de las familias afirmaron que ha habido una disminución de los meses más fríos a fechas recientes sobre todo en los meses de noviembre, diciembre y enero, pudiendo esto coincidir con los datos más recientes en donde el año más caluroso registrado fue el 2015 con temperaturas de 25.8 °C, 22.7 °C y 17.8°C en los meses que reportan las familias en comparación con el año más frío registrado en 1976 con temperaturas 16.7°C, 15.6°C y 16.4°C (INEGI, 2016).

Por su parte 82% de las familias indicó que ha habido un aumento de la temperatura en los meses cálidos de abril y mayo en los cuales se tienen registros que el promedio de la temperatura fue de 24.1°C y 27.1°C del período de 1975-2015 para los meses que señalan, pero para el año más caluroso solo el mes de abril fue superior al promedio normal para el municipio de Tamuín con 29.2 °C (INEGI, 2016).

Con relación al período de lluvias un 100% de la población entrevistada consideran que estas han disminuido a lo cual un 77% indicó que esta disminución ha sido mucha presentándose sobre todo en los meses de junio y julio.

Mientras que en la serie de tiempo de 1996-2010 usada para la selección de las comunidades el promedio de la precipitación total fue de 1060mm (Domínguez Cortinas, 2016). Por su parte la serie de tiempo de 1975-2015 presentada por INEGI (2016) en promedio la precipitación total fue de 1002.6 mm y en ambos casos se encuentran por encima de la precipitación reportada para el municipio de Tamuín de 882.8 mm. Es decir, de acuerdo con lo señalado el municipio ha venido presentando un aumento casi de 200 mm de precipitación, lo cual concuerda con el patrón climático encontrado para el municipio una tendencia al aumento de la precipitación más elevadas, pero no con la percepción de la comunidad.

Algunas de las razones por lo que la comunidad pudo no percibir el aumento de las precipitaciones es que de acuerdo con el Atlas del Agua en México en su edición 2016 menciona que el municipio de Tamuín presento condiciones de sequía clasificadas como

anormalmente seco durante el año 2015, lo cual pudo haber influido sobre la percepción de la comunidad (CONAGUA-SEMARNAT, 2016).

Así mismo el tipo de clima presente con marcada estacionalidad hace que en época seca la vegetación sea menor haciendo más intenso el calor. Así como también debido al uso de suelo pecuario que en su mayoría cubre a la comunidad de pastizales y en épocas secas el suelo queda completamente desnudo (Álvarez Lopezello *et al.*, 2016) (Imagen 27).



**Imagen 27. Pastizal seco durante el estiaje comunidad de Nuevo Aquismón**

Fuente: (Imagen propia)

Siguiendo con lo anterior otra de las causas podría ser la apreciación que tienen con la disminución o pérdida de plantas ya que el 46% de la población afirmó que si ha habido pérdida y que las especies que más han disminuido son el Ébano, Huizache y Mezquite. Por otra parte, también el 63% de la población indicó la pérdida de animales como el conejo, venado y el ganado mencionando la falta de lluvias entre sus causas.

Por el contrario, algunas familias coincidieron en que hay más vegetación ahora aun cuando las lluvias han disminuido debido a que cuando se habitó la comunidad por primera vez no había casi árboles porque se sembraba maíz todo era agricultura, los primeros pobladores fueron los que trajeron semillas para sembrar árboles como el mezquite, palo de rosa y algunos frutales por lo que en la actualidad hay más. Pero debido también a su llegada todo se transformó nuevamente a potreros y se volvió a desmontar para poder construir sus viviendas y para los pastizales.

Por otra parte, aunque, todas las familias coincidieron con una percepción en la disminución de las lluvias también concordaron en que las lluvias en las ocasiones que se presentan provocan inundaciones causando graves afectaciones a la comunidad como la pérdida de sus animales y cultivos necesarios para sobrevivir lo cual queda evidenciado en las declaratorias de emergencia emitidas para el municipio de Tamuín en varias ocasiones a causa de los fenómenos hidrometeorológicos (DOF, 2008; DOF, 2013; Hati *et al.*, 2015).

Es por tanto que dentro de los registros encontrados para el municipio sobre los fenómenos naturales se tienen reportadas 9 inundaciones causadas por tormentas tropicales, lluvias, huracanes y desbordamientos y por el otro lado se han presentado en 4 ocasiones sequías principalmente en la década de los setenta por la falta de lluvias (Tabla 11) (DesInventar, 2017; Plan Municipal de Desarrollo 2015-2018).

**Tabla 11. Registro de eventos meteorológicos y de otra índole en el municipio de Tamuín para el período 1970-2013.**

Tipo de evento	Fecha	Número de eventos	Causas	Fuente
<b>Inundación</b>	1975,1988,1991,1993,2008,2010, 2011	9	Tormentas tropicales, lluvias, huracanes y desbordamientos	Excélsior, La Jornada, El Universal FONDEN
<b>Sequía</b>	1970,1971,1974, 1975	4	Falta de lluvias prolongada	Excélsior, El Universal
<b>Plagas</b>	1970,1971,2002	2	-	-
<b>Deslizamiento</b>	1975, 2011	2	Huracán Calvin, lluvia	El Universal, La Jornada
<b>Golpe de calor</b>	1984,2010	2	Temperaturas entre 40-44°C	Excélsior, El Universal
<b>Nevada</b>	1979,1998	2	Onda fría	Excélsior, El Universal
<b>Lluvias</b>	1993	1	Huracán Calvin	La Jornada
<b>Vendavales</b>	1993	1	Lluvias	Excélsior

Fuente: Adaptado de (DesInventar, 2017)

En síntesis las familias también señalaron que hace 36 años que llegaron había mucha agua debido a que tenían considerables lluvias y por lo tanto muchos árboles, pero más recientemente debido a las sequías que indicaron no hay pasto y el que hay se seca es por esto que algunos de sus animales mueren aunque también las tormentas han ahogado al



ganado, además del hambre y la sed que los han matado por eso han estado sembrando árboles donados del CBTIS que se encuentra cercano a la comunidad.

### **7.3. Caracterización de los usos de suelo**

Respecto a los puntos de muestreo del suelo 39 correspondieron a uso pecuario, cinco fueron agrícolas para el cultivo de sorgo y uno uso forestal para la recolección de leña como combustible (Anexo 2). En promedio el tamaño del área dedicada a los cultivos fue de 5.41 ha y el de la actividad pecuaria de 10 ha. Por su parte el promedio de unidades de ganado fue de 16 aunque varía de 3 a 40 unidades en dependencia del poder adquisitivo de las familias, así como de los cuidados de los animales.

El suelo para la ganadería lo usan aproximadamente hace 36 años cuando llegaron habitar la comunidad, el principal tipo de ganado que tuvieron fue el suizo, charolais y brahman el juez señaló que son utilizados por su tolerancia a las altas temperaturas y humedad, así como también por comer una mayor variedad de forraje y ser más resistentes a enfermedades (Imagen 28).



**Imagen 28. Ganado presente en la comunidad**

Fuente: (Imagen propia)

El tipo de pasto para alimentar al ganado referido por el juez fue: zacate carretero (*Botriochloa pertusa*), Estrella de África (*Cynodon plectostachyum*), Guinea (*Panicum maximum*), Navajita (*Bouteloua gracilis*) y Pangola (*Digitaria decumbens*) (CONABIO, 2012). El forraje para el ganado cuando no hay pasto lo obtienen al comprar pacas de sorgo o maíz en los ejidos con un costo de \$20-25 pesos y cada vaca consume de 1-2 por día.

## 7.4. Evaluación de los suelos Vertisoles

A continuación, se muestra en la Tabla 12 los estadísticos descriptivos de cada uno de los parámetros analizados.

**Tabla 12. Estadísticos descriptivos de los parámetros físicos y químicos analizados**

Parámetros	Estadísticos			
	Media	Desviación estándar	Máximo	Mínimo
<b>Textura</b>				
Arena (%)	13.98	8.32	49.32	3.70
Limo (%)	28.14	4.58	38.38	20.32
Arcilla (%)	57.88	8.04	72.68	24.68
Conductividad eléctrica (mS cm <sup>-1</sup> )	0.74	0.28	1.70	0.50
Materia orgánica (%)	3.17	1.10	6.54	1.01
pH 1:2	7.77	0.14	8.04	7.22
Densidad aparente (g cm <sup>-3</sup> )	1.35	0.02	1.45	1.33
Capacidad de campo (%)	37.71	4.13	44.50	19.80
Punto de marchitez permanente (%)	18.83	2.07	22.20	9.90
Agua aprovechable (%)	18.88	2.07	22.30	9.90
Agua en el suelo a saturación (%)	52.89	3.80	60.00	44.00
Carbonatos totales (%)	4.95	5.07	28.40	0.90
Nitrógeno inorgánico (Kg ha <sup>-1</sup> )	10.11	5.10	24.00	3.60
Fósforo extraíble (Kg ha <sup>-1</sup> )	28.09	9.59	53.00	12.00
Potasio intercambiable (Kg ha <sup>-1</sup> )	1791.60	488.36	3280.50	543

### 7.4.1. Análisis físico del suelo

De los indicadores físicos del suelo tales como textura, densidad aparente, humedad del suelo los resultados se muestran a continuación:

#### 7.4.1.1. Textura

De los 45 puntos muestreados dentro de la comunidad el promedio de arena fue de 13.98%, de limo de 28.14% y de arcilla de 57.88%. Por tipo de textura 94% de las muestras presentaron textura arcillosa y el 6% restante correspondió a dos puntos uno con clase textural franco arcillo-arenosa y otro franco arcilloso.

En la Tabla 13 se muestran los porcentajes correspondientes de arena, limo y arcilla de acuerdo con su categorización en donde se observa que para la textura arcillosa presentaron en promedio 59% de arcilla que de acuerdo con la clasificación de suelos norteamericana Soil Taxonomy los Vertisoles presentan más de 30% de arcillas entre la superficie del suelo hasta una profundidad de 18 cm pero pueden llegar a tener hasta un 80% de contenido de arcilla por lo cual se encontró dentro de los parámetros normales (IUSS Working Group World Reference Base, 2008; Osman, 2018).

**Tabla 13. Porcentajes de arena, limo y arcilla de acuerdo con su clase textural.**

Clasificación	n	Frecuencia relativa (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
Arcillosa	43	96	12.75	28.17	59.08
Franco arcillo-arenosa	1	2	49.32	26	24.68
Franco arcilloso	1	2	31.31	29.28	39.4

#### 7.4.1.2. Densidad aparente

Para la densidad aparente se encontró que el 98% de las muestras de suelo analizadas presentó una densidad alta con un promedio de  $1.35 \text{ g cm}^{-3}$  y 2% mostró densidad muy alta con promedio de  $1.45 \text{ g cm}^{-3}$  en este caso la densidad aparente se encontró fuera del rango ideal de  $1.2\text{-}1.3 \text{ g cm}^{-3}$  (Israelsen y Hansen, 1979 en Universidad de la República, s.f.). Si bien se señala puede ser producto de sus altos contenidos de arcilla y los ciclos de secado y humedecimiento que tienden a compactarse de forma natural, (Reyes & Willians , 2014).

Autores como Álvarez *et al.*, (2012) indicaron en su estudio que la densidad aparente del suelo también se ve afectada en áreas con pastizales por los sistemas de manejo y que esta tiende a aumentar en sitios en condiciones de estrés y pisoteo del ganado. Otra condición que podría también ser es si el suelo se encuentra húmedo o seco ya que en la primera tiende a tener una mayor densidad y para las muestras fueron recolectadas durante la época seca y con presencia de ganado en la mayoría de los sitios (Cabrera *et al.*, 2011).

#### 7.4.1.3. Humedad del suelo

Respecto a la humedad del suelo se observó que la capacidad de campo en promedio fue de 38% en las muestras, el punto de marchitez permanente de 19% y por lo tanto el agua aprovechable en el suelo fue de 19% y el agua en el suelo a saturación estuvo en 53%.

Según Hansen *et al.*, (1979) y Alva *et al.*, (2015) señalan que para suelos arcillosos como en este caso los Vertisoles las propiedades físicas en relación con el agua disponible para la capacidad de campo está en un rango de 31-39% con un promedio de 36% y para el caso del punto de marchitez permanente este debería estar entre 16-20% con un promedio de 17% rangos en los cuales se encontraron las muestras de Nuevo Aquismón (Villazón *et al.*, 2015). La humedad puede oscilar entre el 60% y el 70% (Zewudie 2000; Marta; 2012 en Osman, 2018).

#### 7.4.2. Análisis químico del suelo

Los resultados de los parámetros químicos evaluados se presentan a continuación:

##### 7.4.2.1. Materia orgánica

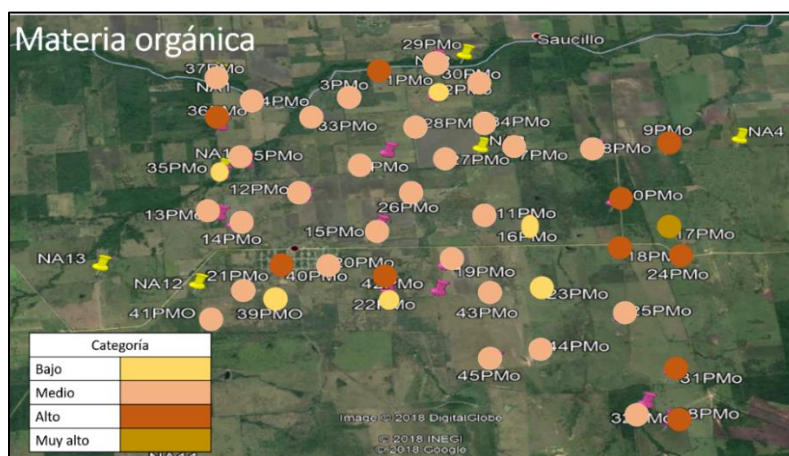
Para la materia orgánica en el suelo se observó que un 60% de las muestras se encontró dentro de la clasificación media, enseguida con 24% la clase alta (Tabla 14). Respecto al contenido de carbono orgánico (CO) mismo de esta prueba se encontró con un promedio de 1.86% típicamente, los suelos con cultivos contienen alrededor de 1-3 % de CO, mientras que los pastos y los suelos forestales presentan valores superiores, de acuerdo al tipo de vegetación que sustentan (Jenkins, 1988 en Cantú Silva & Yañez Díaz, 2018).

**Tabla 14. Clasificación de la materia orgánica en el suelo**

Clase	Materia orgánica (%)	n	Frecuencia relativa (%)	Promedio
<b>Baja</b>	0.6-1.5	6	13.33	1.32
<b>Media</b>	1.6-3.5	27	60	2.7
<b>Alta</b>	3.6-6.0	11	24.44	4.26
<b>Muy alta</b>	>6.0	1	2	6.54

De acuerdo con las características de los Vertisoles el contenido de materia orgánica encontrado coincide con éstas donde se espera hallar un contenido de medio a bajo, usualmente de 1 a 3% en la superficie del suelo. Aunque en las muestras analizadas fue mayor el porcentaje de materia orgánica clasificada con alto contenido que el bajo el contenido en materia orgánica mayor de 3% podría ser debido a la acción de los pastos en la acumulación de esta durante mucho tiempo (Sotelo R. *et al.*, 2008; Alva *et al.*, 2015).

En la Imagen 29 se puede ver los puntos de muestreo y su clasificación de materia orgánica los puntos de la categoría alta en su mayoría fueron de propiedad privada y se encontraron más lejos de la comunidad. Algunos autores como Rodríguez *et al.* (2009) evidenciaron que sistemas de manejo de menor perturbación y mayor descanso tienden a mejorar la materia orgánica en el suelo.



**Imagen 29. Clasificación de la materia orgánica**

**Fuente:** (Elaborado a partir de Google Earth, 2018)

Además, se señala que, en los pastizales, una proporción relativamente alta de residuos puede consistir en materia de raíz, que se descompone más lentamente y contribuye eficazmente a la formación de humus del suelo (Brady & Weil, 2007).

Otros factores que pudieron contribuir al contenido de materia orgánica es que algunos autores sugieren que en condiciones de bajo oxígeno o anaeróbicas, la descomposición de esta tiene lugar mucho más lentamente que cuando el oxígeno es abundante. Por lo tanto, los suelos húmedos y anaeróbicos tienden a acumular grandes cantidades de esta en una condición parcialmente descompuesta lo cual puede ocurrir en los Vertisoles de la comunidad que tienden a encharcarse en época de lluvia y que además presentan tendencia al aumento de las precipitaciones (Brady & Weil, 2007).

#### 7.4.2.2. pH del suelo

El pH se encontró dentro de la clasificación de medianamente alcalino con un promedio de 7.77 tanto el pH medido en agua como el medido en la pasta de saturación de 7.95 (NOM-

021-SEMARNAT-2000). Otros estudios han mostrados los mismos resultados de pH que oscila entre 7.5 y 8.5 en Vertisoles de otras regiones del mundo sugiriendo que esto podría deberse al contenido de carbonatos de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), así como también al alto contenido de bases intercambiables, especialmente de calcio y magnesio (Llorente Sánchez, 2004; Osman , 2018).

#### 7.4.2.3. Carbonatos totales

El 78% de las muestras estuvo dentro de la categoría de media con un promedio de 4.75% (Tabla 15). Como ya se indicó los suelos ricos en carbonatos y con un pH próximo a 8 suelen contener mucho carbonato de calcio. La presencia de carbonatos favorece la estructuración del suelo, la actividad de los microorganismos y atenúa en parte las características desfavorables de los suelos (Universidad de Extremadura, 2018).

**Tabla 15. Clasificación de los carbonatos totales**

Clase	Carbonatos totales (%)	n	Frecuencia relativa (%)	Promedio
Baja	0.5-2	8	18	1.3
Mediano	2.1-15	35	78	4.7
Alto	16-40	2	4	23

#### 7.4.2.4. Conductividad eléctrica

El 91% de las muestras fue clasificada con efectos despreciables de salinidad con un promedio de 0.67 mS  $\text{cm}^{-1}$  y el porcentaje restante 9% fue clasificada como muy ligeramente salina con 1.45 mS  $\text{cm}^{-1}$  lo cual se ajusta a sus características ya que solo ocasionalmente presentan dificultades de salinidad cuando presentan problemas de acumulación de sales de Ca y de Na (FAO-SAGARPA, 2010).

#### 7.4.2.5. Nitrógeno inorgánico

Para el nitrógeno inorgánico en el suelo todas las muestras se clasificaron dentro de la categoría de bajo con un promedio de 10.11 kg  $\text{ha}^{-1}$ . Se sugiere que en su forma de amonio cuando está fijado en las arcillas no es fácilmente intercambiable solo hasta que se provoca la expansión de las arcillas, puede liberarse y pasar a la solución del suelo (Ferrera & Alarcón, 2001 en Cantú Silva & Yañez Díaz, 2018).

Concretamente en la mayoría de los suelos y en el horizonte superficial, más del 90 % del nitrógeno se encuentra en formas orgánicas y el resto como  $\text{NH}_4^+$  retenido por las arcillas. La fracción disponible para las plantas son la forma aniónica ( $\text{NO}_3^-$ ) y catiónica ( $\text{NH}_4^+$ ) y su contenido es menor al 10 % del total (FAO-SAGARPA, 2010; Hati *et al.*, 2015).

Existen, además, relaciones inversas entre la temperatura y el contenido de nitrógeno y de materia orgánica de los suelos. Es decir, al aumentar la temperatura decrece el nivel de nitrógeno en el suelo, lo que pudo haber ocurrido en el presente estudio, ya que la época de muestreo fue en la temporada seca y cálida (Arguello Arias, 1991).

Otros autores señalan que el pH alcalino de los Vertisoles es propicio para la pérdida por volatilización del amoníaco presente en el suelo y el que es aplicado a través de la fertilización (Osman , 2018).

#### **7.4.2.6. Fósforo extraíble**

Para este nutriente se observó que el 71% de las muestras fueron clasificadas dentro de la categoría de medio con un promedio de  $30.52 \text{ Kg ha}^{-1}$ , seguido de la categoría de bajo con un 24% y un promedio de  $16.75 \text{ Kg ha}^{-1}$ . Los Vertisoles presentan bajos niveles de fósforo sobre todo en épocas con menos lluvias el lavado es mínimo y los suelos se alcalinizan (pH entre 7.0 y 8.5), provocando baja solubilidad del fósforo debido a la presencia de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) (FAO-SAGARPA, 2010). Otros estudios encontraron los mismos resultados de concentraciones medias en Vertisoles (Hati *et al.*, 2015).

Como ya se indicó en el caso del fósforo en los Vertisoles este disminuye su solubilidad precipitando y dando a formas insolubles como el fosfato de calcio ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ). Así mismo en suelos básicos puede producirse una fijación lenta e irreversible de una parte del óxido de fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) en forma de fosfatos tricálcicos no recuperables (Castro & Torrent, 1994; Andrades & Martínez, 2014; Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2014).

#### **7.4.2.7. Potasio intercambiable**

El 98% de las muestras se encontró dentro de la categoría media con un promedio de  $543 \text{ Kg ha}^{-1}$  y el 2% restante dentro de la categoría de alto con  $1819.98 \text{ Kg ha}^{-1}$  en Vertisoles se encuentran regularmente en concentraciones de medias a elevadas (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2014).

Para el potasio se indica que las arcillas 2:1 de los Vertisoles representan gran retención de este catión a diferencia de los suelos arenosos pero es menos disponible (Trisdale et al., 1993 en Andrades & Martínez, 2014; Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2014). Pese a esto presenta una mayor capacidad de amortiguamiento, lo que evita una caída importante de la concentración en la solución de suelo cuando el potasio es absorbido por el cultivo (Andrades & Martínez, 2014).

## 7.5. Salud del suelo y vulnerabilidad ambiental

Los parámetros evaluados se observaron casi todos dentro de los límites de los Vertisoles (Tabla 16). Pese a estos resultados se debe considerar el patrón climático encontrado para el municipio de Tamuín y como este puede interferir con la salud del suelo aunado a la percepción de la comunidad respecto a estos factores.

**Tabla 16. Clasificación de los parámetros del suelo evaluados**

<b>Parámetro</b>	<b>Frecuencia relativa (%)</b>	<b>Promedio</b>	<b>Clasificación</b>
<b>Textura</b>	94	Arena (12.75%) Limo (28.17) Arcilla (59.08)	Textura arcillosa
<b>Conductividad eléctrica</b>	91.11	0.67 mS cm <sup>-1</sup>	Efectos despreciables de salinidad
<b>Materia orgánica</b>	60	2.7 %	Media
<b>pH</b>	100	7.77	Medianamente alcalino
<b>Densidad aparente</b>	97.78	1.35 g cm <sup>-3</sup>	Alta
<b>Humedad del suelo</b>	–	CC (37.71%) PMP (18.83%) AA (18.88%)	Dentro del rango
<b>Carbonatos totales</b>	77.78	4.75%	Media
<b>Nitrógeno inorgánico</b>	100	10.11 Kg ha <sup>-1</sup>	Bajo
<b>Fósforo extraíble</b>	71.11	30.52 Kg ha <sup>-1</sup>	Media
<b>Potasio intercambiable</b>	97.78	543 Kg ha <sup>-1</sup>	Media

Debido a que en relación con la variabilidad climática y el cambio climático estudios como el de Ahmed *et al.* 2009 en Banco Mundial (2013) indican que en México los eventos extremos potencian la pobreza. Por ende, muchos pequeños productores como en el caso de Nuevo Aquismón enfrentan el riesgo de verse obligados a abandonar sus tierras por causa de las pérdidas financieras y la carga de la deuda que enfrenta hoy en día la agricultura.



Específicamente con los parámetros analizados se puede destacar algunas características importantes que pueden hacer vulnerable a la comunidad.

Empezando por la textura el 94% de las muestras presentó una textura arcillosa lo cual hace que la velocidad de infiltración para esta clase sea  $< 8$  mm/hr la más baja de las clases texturales. Por tanto, este tipo de suelos tienen tasas de infiltración y conductividad hidráulica bajas. Lo que provoca que, en temporada de lluvia no se infiltre el agua y se pierda por escorrentía que en el caso de Nuevo Aquismón resulta en un problema si se añaden las tendencias al aumento en el número de precipitaciones. Debido a que se pueden presentar o agravar problemas como las inundaciones, dificultando las actividades agropecuarias (Zewudie 2000; Marta; 2012 en Osman, 2018).

Continuado con lo anterior de acuerdo con la Universidad de Santa María (2005) la densidad aparente de  $1.35 \text{ g cm}^{-3}$  y el contenido de arcilla de 60-70% son valores críticos que pueden considerarse indicadores de compactación; en este sentido 42.22% de las muestras presentaron un contenido de arcillas igual o mayor a 60% lo que puede considerarse como un factor que propicia problemas de compactación (Bowen, 1981 en Llorente Sánchez, 2004; FAO-SAGARPA, 2010).

En este sentido y de acuerdo con la FAO (2009) la compactación del suelo es un problema pues se calcula que esta puede causar una reducción en el rendimiento de los cultivos de entre un 25-50% según estudios hechos en zonas de la Unión Europea y América del Norte, con pérdidas en las unidades de explotación que ascienden a 1,200 millones de dólares al año en los Estados Unidos.

En la comunidad el 41.02% de las familias indicaron una disminución de sus cosechas desde pérdida parcial hasta total mencionando como causas la preparación del suelo y las condiciones climáticas que ocasionan inundaciones o problemas de sequías.

En el caso de la humedad del suelo aun cuando pueden llegar a tener una alta capacidad de retención de esta por su contenido de arcillas especialmente la montmorillonita, por la acumulación de materia orgánica y por la pedoturbación pueden presentar problemas para que las plantas la absorban resultando en rangos de humedad del suelo restringido entre

estrés hídrico y exceso de agua (Jaramillo, 2002; Zewudie 2000; Marta; 2012 en Osman, 2018).

De esta forma considerando el patrón climático para la comunidad esto podría dificultar el manejo adecuado de los cultivos y el ganado si no se cuenta con un sistema apropiado para captar el exceso de agua que pudiera ser aprovechado durante todo el ciclo del cultivo o para cubrir otras necesidades (Jaramillo, 2002).

Para las propiedades físicas entonces se encontró que diversos estudios del suelo coinciden en que factores como: tipo de suelo (Vertisol) condiciones climáticas (precipitación), uso (ganadería/agricultura) entre otras lo afectan teniendo consecuencias importantes como la disminución de la porosidad y la infiltración haciendo que el agua se escurra o evapore lo que interviene con la relación suelo-agua-aire-planta (FAO, 2009; Macías-Socarrás *et al.*, 2017; Özcan *et al.*, 2018).

Pudiendo ser una consecuencia de todo esto el forraje para el ganado que fue un problema referido por el juez ya que señaló que el pasto carretero (*Botriochloa pertusa*) es casi el único que hay, aunque no es apetecible y tiene bajo contenido de proteína 4-6% aunado al hecho de que aún este tipo de pastos se ven afectados por procesos de compactación y sobrepastoreo al desarrollarse mejor en suelos arenosos (Perdomo Roldán *et al.*, 2009; March & Martínez; 2007; Daemane *et al.*, 2012; Díaz *et al.*, 2012 en Melgoza Castillo *et al.*, 2014).

Referente a los parámetros químicos analizados como ya se señaló arriba del 50% de las muestras fueron clasificadas con materia orgánica media con un promedio de 2.7% pese a esto el Subíndice de uso Sustentable del Suelo para México menciona que en la medida que no se mantenga un nivel cercano al 5%, de materia orgánica en los suelos de México este es propicio a la degradación física y por ende a perder su calidad (FAO-SAGARPA, 2010).

Lo cual resulta importante ya que aun cuando se halló contenidos cercanos o mayores al 5% la adición de materia orgánica no es una práctica implementada en la comunidad puesto que el juez señaló que no se realiza ninguna actividad que pudiera aportarla como cultivos de coberturas vegetales o residuos de cosecha ya que estos últimos son utilizados para alimentar al ganado.

En el caso de la agricultura de sorgo se evidenció la implementación de maquinaria para poder trabajar los Vertisoles por su dureza (Imagen 30). Siendo que algunos estudios mencionan que la labranza acentúa las emisiones de CO<sub>2</sub> al reducir la estabilidad de los agregados del suelo, exponiendo el carbono orgánico encapsulado a la degradación microbiana, y alterando el microclima del suelo e influenciando negativamente la actividad y la diversidad de la fauna del suelo (Six *et al.*, 2000, 2002 en Saynes Santillán *et al.*, 2016; Hati *et al.*, 2015; Cantú Silva & Yañez Díaz, 2018).



**Imagen 30. Preparación del suelo para la siembra de sorgo.**

Fuente: (Imagen propia)

Lo anterior resulta de suma importancia si se retoman los resultados de las propiedades físicas en donde se tiene un suelo arcilloso con una densidad aparente alta y problemas de compactación ya que una mejor aportación de materia orgánica ayudaría a la mejor estructuración del suelo al formar agregados más estables que permiten el paso del agua, el aire y las raíces de las plantas (Millán *et al.*, 2013).

En el tema de los nutrientes se considera que los Vertisoles, por su alto contenido en arcillas, mantienen una alta proporción de nutrientes, de manera que la fertilidad de estos se puede conservar en niveles adecuados (Llorente Sánchez, 2004). Pese a esto por sus condiciones de humedad y endurecimiento son difíciles y por lo tanto indeseables para fines agrícolas (Özsoy & Askoy, 2007) usados entonces para uso pecuario. Aun cuando Asner *et al.*, 2004 en FAO (2009) señalan que los pastos tienen una productividad de la biomasa más baja que la de las zonas cultivadas.

Para sitios pecuarios como Nuevo Aquismón se tiene para los nutrientes que aun cuando estos pueden estar siendo aportados por parte de lo excretado por los animales a través de la orina rica en nitrógeno y potasio y heces que contienen fósforo, potasio, sodio, nitrógeno y azufre. Estos nutrientes pudieran no estar disponibles inmediatamente o ser poco disponibles para las plantas por diversos mecanismos del suelo. Así como también por las prácticas de manejo que pudieran no ser las adecuadas (FAO, 2009).

Tal podría ser el caso del pH alcalino y los carbonatos que pueden impedir que la planta absorba buena parte de los nutrientes del suelo al formar una especie de capa de calcio que puede retener elementos como el hierro o el fósforo haciendo que las plantas no se beneficien de estos (Andrades & Martínez, 2014).

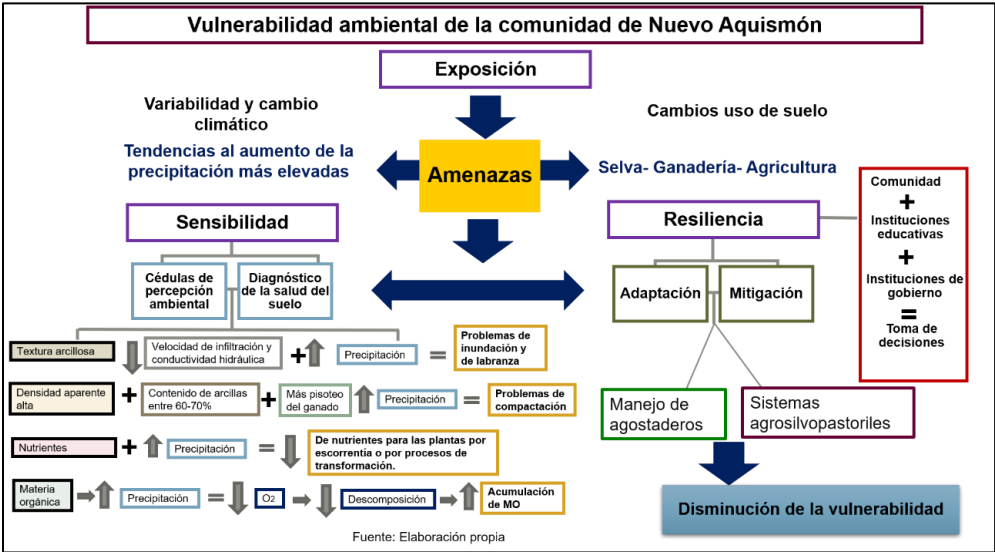
En el caso del  $\text{NO}_3^-$  que es la principal forma de absorción por las plantas, es muy móvil, fácil de lavarse con el agua de lluvia y riego por la ausencia de mecanismos de retención como adsorción y precipitación lo cual con el patrón climático y la tendencia de los Vertisoles a inundarse puede hacer que se pierda por escorrentía dejando de ser disponible para las plantas y ocasionar problemas de contaminación en matrices ambientales como el agua (FAO-SAGARPA, 2010; Hati *et al.*, 2015).

Aunado a lo anterior cuando se presentan condiciones de saturación de agua el nitrógeno también se puede liberar a la atmósfera en forma de  $\text{N}_2$  y  $\text{N}_2\text{O}$  al prevalecer condiciones anaeróbicas que hacen que algunos organismos tomen el  $\text{O}_2$  del  $\text{NO}_2^-$  y el  $\text{NO}_3^-$  lo cual en este escenario puede provocar la pérdida de este nutriente tan importante para el suelo y por ende para los cultivos (Bernal & Espinosa, 2003).

Finalmente se puede apreciar que existe una relación en ambas direcciones entre la salud del suelo y la vulnerabilidad ambiental ya que existen diversos factores del suelo que pueden potenciar el aumento o disminución de la vulnerabilidad ambiental en la comunidad.

En la Imagen 31 por tanto se puede apreciar el esquema de vulnerabilidad ambiental de la comunidad a través de sus tres componentes 1) Exposición a la variabilidad climática y uso de suelo, 2) Sensibilidad los factores que la afectan los cuales ya fueron mencionados como el patrón de la lluvias, el uso dominante del suelo, alto porcentaje de arcillas y su relación

con problemas de compactación entre otros y 3) Resiliencia haciendo referencia a enfoques que pudieran ser contemplados en la comunidad que logran mejorar la vida de las personas mediante el suelo y en combinación con otros mecanismos como la participación comunitaria.



**Imagen 31. Vulnerabilidad ambiental y salud del suelo en la comunidad de Nuevo Aquismón.**

Fuente: (Elaboración propia)

La importancia de la toma de medidas sobre los resultados obtenidos resalta en que las evaluaciones más recientes predicen que debido al cambio climático, es probable que aumenten los episodios de precipitaciones más intensas y localizadas en los próximos años dando lugar a fenómenos meteorológicos extremos, más intensos y frecuentes (Asociación Española Agricultura de Conservación, 2006; IPCC, 2014). Es por tanto necesario trabajar para que la comunidad pueda disminuir su vulnerabilidad al ambiental mediante estrategias que ayuden a reforzar su capacidad de sobrellevar desastres y diversificar sus medios de vida mediante la gestión adecuada de sus ecosistemas de acuerdo con las necesidades y percepciones de la comunidad.

## **CAPÍTULO 7**

---

### **8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **8.1. Conclusiones**

El diagnóstico de salud del suelo a través de sus indicadores físicos y químicos así como también de las cédulas de información ambiental permitió evaluar la vulnerabilidad ambiental de la comunidad de Nuevo Aquismón lo cual creo un panorama actual de su situación y como esta se puede ver afectada por la tendencia al aumento de la precipitación más elevada encontrado para la comunidad.

Dentro de los parámetros físicos analizados se observó que las muestras presentaron una textura arcillosa y densidad aparente alta, lo que hace que se presenten problemas de compactación y que la tasa de infiltración sea muy baja siendo suelos casi impermeables y que con el patrón climático encontrado esto puede convertirse en un problema serio para la comunidad ocasionando perdidas de cultivos, animales e incluso de algunos nutrientes del suelo como el nitrógeno.

Por su parte dentro de los parámetros químicos se observó que el nitrógeno inorgánico se encontró en concentraciones bajas, que el pH ligeramente alcalino puede estar condicionado por los carbonatos y pudiera tener efectos sobre la disponibilidad de algunos nutrientes como el fósforo y el nitrógeno al crear complejos que los retienen o por el contrario crear condiciones que hacen que se pierdan a la atmosfera como es el caso del amonio.

En lo que respecta a la materia orgánica se halló un promedio medio empero esto no se debe a prácticas como cultivos de cobertura o de cosecha ya que el suelo queda descubierto la mayor parte del año sino más bien podría deberse a la asociación fisicoquímica con las partículas de arcilla de los Vertisoles.

Pasando a los resultados encontrados en las cédulas de información ambiental se encontró que las familias perciben una disminución en el número de lluvias y un aumento de la temperatura tanto en los meses fríos como en los de calor lo cual contrastó con el patrón climático un aumento de la precipitación más elevada.

Se encontró que la mayoría de las familias refirieron que el suelo ya no es bueno para cultivar a causa de la falta de lluvias, buena preparación y los usos que se le dio en el pasado.

En conclusión los resultados encontrados en este trabajo pueden ser utilizados como base para promover un mejor manejo y aprovechamiento de los Vertisoles que sustenten las necesidades de la comunidad a través de diversos servicios que puedan incluir sistemas de adaptación y mitigación al cambio climático siempre y cuando se cuente con la participación de la comunidad.

## **8.2. Recomendaciones**

Existen diversas soluciones, que pueden ser llevadas a cabo, pero es necesario el compromiso conjunto de la comunidad y la participación activa de las instituciones de gobierno y las educativas para la búsqueda de soluciones concretas. Empero en este trabajo se abordan algunos ejemplos que pudieran implementarse una vez que su viabilidad sea analizada para el contexto local de Nuevo Aquismón.

Para la comunidad de acuerdo a los resultados presentados en este trabajo para un mejor aprovechamiento de los Vertisoles se podría recomendar el manejo de agostaderos que permite controlar la intensidad de la carga animal y la frecuencia del pastoreo y/o la adopción de sistemas agrosilvopastoriles que son una forma de combinar árboles con pasturas y animales dentro de una parcela o arboles con cultivos.

Si se retoman los resultados del presente trabajo se pudieran apreciar beneficios como: la disminución de la densidad aparente, al promover técnicas de pastoreo rotacional en los agostaderos, un incremento de la materia orgánica por la presencia de coberturas vegetales, lo cual ayudaría a mejorar el pH, la infiltración de agua al suelo y aumentar la productividad vegetal y animal teniendo un mayor rendimiento al proveer forraje más nutritivo y balanceado. Aunado la asociación de cultivos como leguminosas y gramíneas que pudiera favorecer el suministro de nutrientes como el nitrógeno.

Además a través de estos sistemas se pudiera contribuir a la conservación de flora y fauna en la comunidad y a mejorar su seguridad alimentaria al promover una mayor diversificación en la producción de alimentos.

Siguiendo con los posibles beneficios estos sistemas también podrían ayudar a la disminución de gases como el CH<sub>4</sub> si se hace un manejo adecuado de las excretas del ganado y se alimenta con pasturas de mejor calidad que sean más fácilmente asimiladas. Igualmente se pudiera contribuir con prácticas de secuestro de carbono ya que las prácticas mejoradas de manejo del pastoreo en los pastizales pueden retener CO<sub>2</sub> previa la realización de estudios en la comunidad que permitan evaluar su viabilidad.

Finalmente estas estrategias se pueden ajustar a las condiciones locales de la comunidad y mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo al mismo tiempo que se abordan diversas dimensiones como la ambiental, social o económica, generando un aprovechamiento adecuado que contribuya a mejorar la calidad de vida de Nuevo Aquismón.



## CAPÍTULO 8

---

### 9. BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Europea de Medio Ambiente. (2016). *El suelo y el cambio climático*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2018, de <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2015/articulos/el-suelo-y-el-cambio-climatico>
- Allen, D. E., Bhupinder , P., & Dalal, R. (2011). Soil Health Indicators Under Climate Change: A Review of Current Knowledge. En K. Yin Chan, A. L. Cowie, & P. S. Bhupinder, *Soil Health and Climate Change* (pág. 406). Australia. doi:10.1007/978-3-642-20256-8
- Alva, Y. T., Chung, F. B., Ojeda, R. A., Orga, J., & Tixe, S. G. (2015). Vertisoles y Ultisoles: Características, comparaciones y manejo.
- Álvarez Lopezello, J., Rivas Manzano, I. V., Aguilera Gómez, L. I., & González Ledesma, M. (2016). Diversidad y estructura de un pastizal en El Cerrillo, Piedras Blancas, Estado de México, México. *Mexicana de Biodiversidad*, 87, 980-989.
- Álvarez, C., Fernández, P., & Taboada, M. (2012). Relación de la inestabilidad estructural con el manejo y propiedades de los suelos en la región pampeana. *Ciencia del Suelo*, 30(2), 173-178.
- Andrades, M., & Martínez, M. E. (2014). *Fertilidad del Suelo y Párametros que la definen*. España: Universidad de la Rioja.
- Arguello Arias, H. (1991). LA DESCOMPOSICION DE LA MATERIA ORGANICA y SU RELACION CON ALGUNOS FACTORES CLIMATICOS y MICROCLIMATICOS. *Agronomía Colombiana*, 8(2), 384-388.
- Asociación Española Agricultura de Conservación. (2006). *La Agricultura y el Cambio Climático*.
- Banco Mundial. (2013). *Las dimensiones sociales del cambio climático en México*. Unidad Administrativa del Sector de Desarrollo Sustentable Región de América Latina y el

Caribe. Recuperado el Noviembre de 10 de 2018, de <http://www.bancomundial.org/content/dam/Worldbank/document/web%20spa%20mexico.pdf>

Bautista Cruz, A., Etchevers Barra, J., Castillo, R., & Gutierréz, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *XIII*(2).

Bernal, G., & Espinosa, J. (2003). *Manual de Nutrición y fertilización de Pastos*. Bogotá-Quito: International Plan Nutrition Institute.

Birkmann, J. (2006). Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies: Conceptual frameworks and definitions. Measuring vulnerability to natural hazards. *Towards disaster resilient societies, 1*, 7-54.

Brady, N., & Weil, R. (2007). The soils around us. En *The Nature and Properties of soils* (pág. 980). PEARSON.

Cabrera, F., Cholaky, C., & Becker, A. (2011). Propiedades hidrofísicas de un Hapludol típico de Córdoba en relación al pisoteo animal. *Ciencia del suelo*, 29(2), 141-150.

Cantú Silva, I., & Yañez Díaz, M. (2018). Efecto del cambio de uso de suelo en el contenido del carbono orgánico y nitrógeno del suelo. *Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(45), 122-151.

Castellanos, J. Z., Uvalle-Bueno, J. X., & Aguilar-Santelises, A. (2000). Nitrógeno. En *Manual de Interpretación de Análisis de Suelos, Aguas Agrícolas, Plantas y ECP* (págs. 61-76). México.

Castro, B., & Torrent, J. (1994). Phosphate availability in calcareous Vertisols and Inceptisols in relation to fertilizer type and soil properties. *Fertilizer Research*, 40(2), 109-119.

Castro, J. L. (28 de Marzo de 2016). La Huasteca Potosina con Alerta Severa por Sequía. *El Sol de San Luis*. Obtenido de <https://www.inforural.com.mx/la-huasteca-potosina-alerta-severa-sequia/>

Castro, J. L. (24 de Junio de 2018). Tamuín en riesgo de inundaciones porque no rehabilitaron los bordos. *El Sol de San Luis*. Obtenido de <https://www.elsoldesanluis.com.mx/local/valles/tamuin-en-riesgo-de-inundacion-porque-no-rehabilitaron-los-bordos-1786767.html>

CEPAL. (2001). *Seminario Internacional Las diferentes expresiones de la vulnerabilidad social en América Latina y el Caribe. Vulnerabilidad y Medio Ambiente*. Santiago de Chile.

Cingolani, A. M., Noy-Meir, I., Renison, M. D., & Cabido, M. (2008). La ganadería extensiva, ¿es compatible con la conservación de la biodiversidad y de los suelos? *Ecol. austral*, 18(3), 253-271.

CONABIO. (2012). *Malezas de México*. Recuperado el 1 de Octubre de 2018, de <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/2inicio/home-malezas-mexico.htm>

CONAGUA-SEMARNAT. (2016). *Atlas del Agua en México 2016*. México.

Coulombe, C. E., Wilding, L. P., & Dixon, J. B. (1996). Overview of Vertisols: Characteristics and Impacts on Society. *Advances in Agronomy*, 57, 289-375.

DesInventar. (30 de Noviembre de 2017). *Sistema de inventario de efectos de desastres*. Obtenido de [https://online.desinventar.org/desinventar/#MEX-1250695136-mexico\\_inventario\\_historico\\_de\\_desastres](https://online.desinventar.org/desinventar/#MEX-1250695136-mexico_inventario_historico_de_desastres)

Diego Rodríguez, M. (2017). *Cédulas de Información en Salud comunidad de Nuevo Aquismón en el municipio de Tamuín, San Luis Potosí*.

DOF. (2008). *DECLARATORIA de Desastre Natural por la ocurrencia de lluvias extremas del 5 al 8 de julio de 2008, en 11 municipios, e inundación atípica el 8, 9, 10 y 11 de julio de 2008, en 6 municipios del Estado de San Luis Potosí*. México. Recuperado el 11 de Octubre de 2018, de [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5057800&fecha=26/08/2008](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5057800&fecha=26/08/2008)

DOF. (2013). *DECLARATORIA de Desastre Natural por la ocurrencia de lluvia severa e inundación del 12 al 18 de septiembre de 2013, en 22 municipios del Estado de San*

*Luis Potosí*. México. Recuperado el 11 de Octubre de 2018, de [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5316146&fecha=02/10/2013](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5316146&fecha=02/10/2013)

Domínguez Cortinas, G. (2016). “*EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ASOCIADA A RIESGOS CLIMÁTICOS Y METEOROLÓGICOS EN COMUNIDADES MARGINADAS DE LAS REGIONES DEL ALTIPLANO, PLANICIE COSTERA Y SIERRA MADRE ORIENTAL DEL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ*”. San Luis Potosí: CENTRO DE INVESTIGACIÓN APLICADA EN AMBIENTE Y SALUD (CIAAS). FACULTAD DE MEDICINA\_CIACYT.

Esqueda-Esquivel, V. A., & Tosquy-Valle, O. H. (2007). EFECTIVIDAD DE MÉTODOS DE CONTROL DE MALEZAS EN LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE DEL PASTO PANGOLA (*Digitaria decumbens* Stent.). *AGRONOMÍA MESOAMERICANA*, 18(1), 01-10.

FAO. (2002). *Captura de Carbono en los Suelos para un Mejor Manejo de la Tierra*. Roma.

FAO. (2009). *La larga sombra del ganado: problemas ambientales y opciones* . Roma.

FAO. (2015). *El suelo es un recurso no renovable*. Roma.

FAO. (2015). *Los suelos almacenan y filtran agua*.

FAO. (2015). *Los suelos ayudan a combatir y adaptarse al cambio climático. Los suelos juegan un papel clave en el ciclo del carbono* . Roma.

FAO. (17 de 02 de 2015a). *Los suelos sanos son la base para la producción de alimentos saludables*. Obtenido de <http://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/277721/>

FAO. (2017). *Definiciones clave*. Recuperado el 13 de Septiembre de 2017, de <http://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>

FAO-OPS. (2017). *El Panorama de la Seguridad Alimentaria y Nutricional 2016*. Santiago de Chile.

- FAO-SAGARPA. (2010). *Subíndice de uso Sustentable del Suelo- Metodología de Cálculo*. México: Componente: Línea de base del uso sustentable del suelo para el año 2010.
- Gamliel, A., & van Bruggen, A. (2015). Maintaining soil health for crop production in organic greenhouses. *Sci. Hortic*, 208, 120-130. doi:10.1016/j.scienta.2015.12.030
- García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35 (2), 125-138.
- Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., . . . Tempio, G. (2013). *Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería. Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación*. Roma: Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. (FAO).
- González Sotelo, A. (2016). *Comportamiento Agronómico, Calidad y Producción Animal de los Recursos Genéticos Forrajeros en el Trópico de México. APOYO AL EXTENSIONISMO RURAL DE LA SAGARPA*. Nayarit.
- Google earth. (2018). Imagen INEGI, Google, Digital Globe.
- Gregory, K., I, S., A, B., J.W, D., E.A., K., A, Y.-A., & A.G, S. (2008). *Environmental Sciences: a student's companion*. SAGE.
- Hansen, V. E., Israelsen, O. W., & Stringham, G. E. (1979). *Irrigation principles and practices*. John Willey and Sons Inc, 417.
- Hati, K. M., Chaudhary, R. S., Mandal, K. G., Bandyopadhyay, K. K., Singh, R. K., Nishant, K. S., . . . Saha, R. (2015). Effects of Tillage, Residue and Fertilizer Nitrogen on Crop Yields, and Soil Physical Properties Under Soybean–Wheat Rotation in Vertisols of Central India. *Agric Res*, 4(1), 48-56. doi:https://doi.org/10.1007/s40003-014-0141-7
- Iglesias Martínez, L. (s.f.). *EL ESTIERCOL Y LAS PRACTICAS AGRARIAS RESPETUOSAS CON EL MEDIO AMBIENTE*. España: Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación.

- INAFED. (2017). *San Luis Potosí Tamaúín*. Recuperado el 10 de Junio de 2017, de Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México: <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM24sanluispotosi/municipios/24040a.html>
- INEGI. (2007). *Conjunto Nacional de Información Edafológica. Serie II*. INEGI. México.
- INEGI. (2007a). *Regiones agropecuarias de San Luis Potosí. Censo Agropecuario 2007*. México.
- INECC. (2014). *Conservación de suelos y adaptación al cambio climático*.
- INEGI. (2014). *Guía para la Interpretación de Cartografía Edafología. 3 Unidades y subunidades de suelo*. México. Recuperado el 15 de Noviembre de 2017, de <http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/INTERNET/EdafIII.pdf>
- INEGI. (2016). *Anuario estadístico y geográfico de San Luis Potosí 2016*. México.
- INEGI. (2016). *Dirección General de Geografía y Medio Ambiente. Catálogo Único de Claves de Áreas Geoestadísticas Estatales, Municipales y Localidades*. Recuperado el 14 de Noviembre de 2017, de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/catalogoclaves.aspx>.
- INEGI. (2017). *Uso de suelo y vegetación*. Recuperado el 10 de Octubre de 2017, de <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/usosuelo/>
- INEGI. (2017b). *INEGI PRESENTA CARTA DEL USO DE SUELO Y VEGETACIÓN SERIE VI*. México. Recuperado el 18 de Enero de 2018, de [http://www.beta.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2017/especiales/especiales2017\\_12\\_01.pdf](http://www.beta.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2017/especiales/especiales2017_12_01.pdf)
- IPCC. (2009). *CAMBIO CLIMÁTICO 2014 Impactos, adaptación y vulnerabilidad*. Suiza.
- IPCC. (2013). *“Resumen para responsables de políticas. En: Cambio Climático 2013: Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Cambridge

University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América. Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley .

IPCC. (2014). *CAMBIO CLIMÁTICO 2014. Impactos, adaptación y vulnerabilidad. CONTRIBUCIÓN DEL GRUPO DE TRABAJO II AL QUINTO INFORME DE EVALUACIÓN DEL GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO.*

IPCC. (2014a). *Quinto reporte de evaluación del IPCC. ¿Qué implica para Latinoamérica.*

IUSS Working Group World Reference Base. (2008). *Base referencial mundial del recurso suelo. Informes sobre recursos mundiales de suelo 103.*

Jaramillo, J. D. (2002). *Introducción a la Ciencia del Suelo.* Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Jovanov, D., Sijakova-Ivanova, T., Ilievski, M., & Ivanova, V. (2012). Moisture retention characteristics in the Vertisols of the Stip, Probistip and Sv. Nikole region. *Agric Conspec Sci*, 77(2), 69-75.

Lhumeau, A., & Cordero, D. (2011). *Adaptación basada en Ecosistemas: una respuesta al cambio climático.* Quito, Ecuador: UICN.

Llorente Sánchez, M. (2004). *Caracterización Física y Química de Vertisoles del Noreste de México sometidos a distintas formas de Manejo.* Tesis, Universidad Autónoma de Nuevo León.

Macías-Socarrás, I., Barrera-Amat, A., Gaskin-Espinosa, B., de la Rosa-Andino, A., & Aguilera-Corrales, Y. (2017). Evaluación de la compactación de un Vertisol dedicado al cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* Mill). *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 26(2), 38-47.

Melgoza Castillo, A., Balandrán Valladares, M., Mata-González, R., & Pinedo Álvarez, C. (2014). Biología del pasto rosado *Melinis repens* (Willd.) e implicaciones para su aprovechamiento o control. *Rev. mex. de cienc. pecuarias*, 5(4), 429-442.

- Millán , E., Feria, M. E., Díaz, F. D., & Millán, C. A. (2013). INCORPORACIÓN DE BIOMASA EN UN SUELO VERTISOL Y SU RELACIÓN CON LA DENSIDAD DE COMPACTACIÓN. *TEMAS AGRARIOS*, 18(1), 57-65.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2014). *Ministerio de Agricultura y Ganadería*. Obtenido de ASOCIACIÓN COSTARRICENSE DE LA CIENCIA DEL SUELO PRINCIPALES SUELOS DE COSTARICA.
- Montealegre, J. E. (2000). LA VARIABILIDAD CLIMATICA INTERANUAL ASOCIADA AL CICLO EL NIÑO-LA NIÑA-OSCILACION DEL SUR Y SU EFECTO EN EL PATRON PLUVIOMETRICO DE COLOMBIA. *Meteorología Colombiana*, 7-21.
- Mora Marín, M. A., Ríos Pescador, L., Ríos Ramos, L., & Almario Charry, J. L. (2017). Impacto de la actividad ganadera sobre el suelo en Colombia. *Ingeniería y Región*, 17, 1-12.
- Morales Nieto , C., Madrid Pérez , L., Melgoza Castillo, A., Martínez Salvador, M., Arévalo Gallegos, S., Rascón Cruz , Q., & Jurado Guerra, P. (2009). Análisis morfológico de la diversidad del pasto navajita[Boutelouagracilis (Willd. ex Kunth) Lag. ex Steud.], en Chihuahua, México. *Téc Pecu Méx*, 47(3), 245-256.
- Muñoz Iniestra, D. J., Soler Aburto, A., López Galindo, F., & Hernández Moreno, M. (2015). *Edafología. Manual de métodos de análisis de suelos*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Nadal, A., Pérez Salicrub, D., Salcido, R., Quesada, M., Ramos Elorduy, J., González, A., & Molina, S. (2011). Estado y Tendencias de los servicios ecosistémicos. En *Capital Natural de México*.
- NOM-021-SEMARNAT-2000. (s.f.). *NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SEMARNAT-2000 QUE ESTABLECE LAS ESPECIFICACIONES DE FERTILIDAD, SALINIDAD Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS, ESTUDIO, MUESTREO Y ANÁLISIS*.



- Ontiveros, R. (2013). *Efectos del cambio climático sobre la degradación de suelos en América Latina*. Bogotá.
- Osman , K. T. (2018). Expansive Soils. In: Management of Soil Problems. *Springer*, 117-143.
- Özcan, H., Aydemir, S., Ali Çullu, M., Günal, H., Eren, M., Kadir, S., . . . FitzPatrick, E. (2018). Vertisols. En S. Kapur , E. Akça , & H. Günal , *The Soils of Turkey* (págs. 169-206). Cham: World Soils Book Series. Springer.
- Özsoy, G., & Askoy, E. (2007). Characterization, classification and agricultural usage of vertisols developed on neogen aged calcareous marl parent materials. *J Biol Environ, 1*, 5-10.
- Pal, D. K., Wani, S. P., & Sahrawat, K. L. (2012). Vertisols of tropical Indian environments: Pedology and edaphology. *Geoderma, 189-190*, 28-49.
- Perdomo Roldán, F., Mondragón Pichardo, J., & Vibrans, H. (2009). *CONABIO*. Recuperado el 02 de Octubre de 2018, de Malezas de México: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/poaceae/rhynchelytrum-repens/fichas/ficha.htm>
- Peréz, E. R. (2008). El lado oscuro de la ganadería. *Prob. Des, 39(154)*, 217-227.
- Pinos-Rodríguez, J. M., García-López, J. C., Peña-Avelino, L. Y., Rendón-Huerta, J. A., González-González, C., & Tristán-Patiño, F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia, 46(4)*, 359-370.
- Plan Municipal de Desarrollo 2015-2018. (s.f.). *Tamuín*. Recuperado el 11 de Octubre de 2018, de [http://www.transparenciamunicipalslp.gob.mx/Transparencia/Municipios//\\_TAMUIN/Art%C3%ADculo%2020.%20fracc.%20II/PLAN%20MUNICIPAL%20DE%20DESARROLLO/004%20PLAN%20MUNICIPAL%20DE%20DESARROLLO%20TAMUIN%202015-2018.pdf](http://www.transparenciamunicipalslp.gob.mx/Transparencia/Municipios//_TAMUIN/Art%C3%ADculo%2020.%20fracc.%20II/PLAN%20MUNICIPAL%20DE%20DESARROLLO/004%20PLAN%20MUNICIPAL%20DE%20DESARROLLO%20TAMUIN%202015-2018.pdf)

- Reyes Hernández, H., Aguilar Robledo, M., Aguirre Rivera, J., & Trejo Vazquéz, I. (2006). Cambios en la cubierta vegetal y uso del suelo en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí, México, 1973-2000. *Investigaciones Geográficas*(59), 26-42.
- Reyes , R., & Willians , J. (2014). Procesos de compactación en un suelo vertisol bajo cuatro condiciones de manejo en la llanura de Coro, estado Falcón, Venezuela. *Bioagro*, 26(1), 39-48.
- Rodríguez, N., Florentino , D., Torres, D., Yendis, H., & Zamora , F. (2009). Selección de indicadores de calidad de suelo en tres tipos de uso de tierra en la planicie de Coro, estado Falcon. *Fac. Agron*, 26(3), 340-361.
- SAGARPA. (2010). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*.
- Santillán, M. (2017). UNAM. Recuperado el 09 de Noviembre de 2018, de Alterar el suelo contribuye al cambio climático: <http://ciencia.unam.mx/leer/633/alterar-el-suelo-contribuye-al-cambio-climatico>
- Saynes Santillán, V. J. (2016). Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas agrícolas de México. *Terra Latinoamericana*, 34, 83-96.
- SEDESOL. (2013). *Catálogo de localidades*. Recuperado el 1 de Junio de 2017, de <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/contenido.aspx?refnac=240400386>
- SEMARNAT. (2011). *Dirección General de Estadística e Información Ambiental, Octubre, 2015, con base en: Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Carta de Uso Actual del Suelo y Vegetación, Serie V, escala 1: 250 000 (Conjunto Nacional)*. México. Recuperado el 20 de Octubre de 2017, de [http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi\\_apps/WFServlet?IBIF\\_ex=D3\\_SUELO02\\_08&IBIC\\_user=dgeia\\_mce&IBIC\\_pass=dgeia\\_mce&NOMBREENTIDAD=\\* &NOMBREANIO=\\*](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_SUELO02_08&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREENTIDAD=* &NOMBREANIO=*)
- SEMARNAT. (2014). *Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Sierra del Abra Tanchipa*. México.

- SEMARNAT. (2015). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Capítulo 3 Suelos.*
- SEMARNAT. (2016). ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO, FUNDAMENTOS, DESDE EL MANEJO DE CUENCAS Y DEL PROCESO DE FORTALECIMIENTO DE CAPACIDADES.
- SEMARNAT. (2017). Recuperado el 13 de Septiembre de 2017, de [http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe15/tema/recuadros/recuadro3\\_2.html](http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe15/tema/recuadros/recuadro3_2.html)
- SEMARNAT-CP. (2003). *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1: 250 000. Memoria.* México.
- SEMARNAT-UACH. (2003). *Evaluación de la pérdida de suelos por erosión hídrica y eólica en la República Mexicana, escala 1: 1 000 000. Memoria.* México.
- Sotelo R, E., Gutiérrez C, M., Cruz B, G., Ortiz S, C. A., & Segura C, M. (2008). Historia y desarrollo de la clasificación de vertisoles en el sistema FAO y la taxonomía. *Terra Latinoamericana*, 26(4), 325-332. Recuperado el 31 de Agosto de 2018, de [/www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792008000400005&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792008000400005&lng=es&tlng=es).
- SSSA. (2017). *Glossary of Soil Science Terms.* Recuperado el 18 de Noviembre de 2017, de <https://www.soils.org/publications>
- Torres Guerrero, C. A., Gutiérrez Castorena, M. C., Ortiz Solorio, C. A., & Gutiérrez Castorena, E. V. (2016). Manejo agronómico de los Vertisoles en México: una revisión. *Terra Latinoamericana*, 34, 457-466.
- Turbay, S., Nates, B., Jaramillo, F., Vélez, J. J., & Ocampo, O. L. (2014). Adaptación a la variabilidad climática entre los caficultores de las cuencas de los ríos Porce y Chinchiná, Colombia. *Investigaciones Geograficas*, 2014(85), 95-112.
- UNISDR. (2009). *Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres.* Ginebra.

- Universidad de Extremadura. (26 de 09 de 2018). *Programa de Edafología*. Obtenido de <https://www.eweb.unex.es/eweb/edafo/CAEdProgTeor.html>
- Universidad de la República. (s.f.). *Agua en el Suelo*. Uruguay: Unidad de Hidrología Depto. de Suelos y Aguas Facultad de Agronomía.
- Universidad de Santa María . (2005). *Valores críticos de densidad aparente, indicadores de compactación, según contenido de arcillas*. Brasil .
- USDA. (2013). *National Agroforestry Center. ¿Qué es Agroforestería?* Nebraska.
- USDA. (2017). *United States Department of Agriculture*. Recuperado el 1 de Junio de 2017, de Soil Health Assessment: <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/health/assessment/>
- USDA-NRSC-SQI. (2001). *United States Department of Agriculture, Nature Resources Conservation Services. Guidelines for Soil Quality Assessment in Conservation Planning*. Soil Quality Institute .
- Vallejo-Quintero, V. E. (2013). IMPORTANCIA Y UTILIDAD DE LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE SUELOS MEDIANTE EL COMPONENTE MICROBIANO: EXPERIENCIAS EN SISTEMAS SILVOPASTORILES. *Colombia Forestal*, 16(1), 83-99.
- Villazón, J. A., Martín, G., Rodríguez, Y., & Cobo, Y. (2015). Resistencia a la penetración en un Vertisol Crómico con diferentes usos, manejos y sitios de muestreo. *Pastos y Forrajes*, 38(2), 162-169. Recuperado el 25 de 09 de 2018, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942015000200002&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942015000200002&lng=es&tlng=es)
- World Bank. (2016). *Population, total*. Recuperado el 11 de 9 de 2017, de <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>

## 10. ANEXOS

### Anexo 1. Carta de consentimiento informado



Centro de Investigación Aplicada en Ambiente y Salud  
Facultad de Medicina CIACYT  
Universidad Autónoma de San Luis Potosí



#### EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ASOCIADA A RIESGOS CLIMÁTICOS Y METEOROLÓGICOS EN COMUNIDADES MARGINADAS DE LAS REGIONES DEL ALTIPLANO, PLANICIE COSTERA Y SIERRA MADRE ORIENTAL DEL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ

Febrero 2017 – Febrero 2018

#### CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Jefes y jefas de familia

San Luis Potosí, SLP

#### PRESENTE

Por este conducto se les invita a participar en el proyecto “EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ASOCIADA A RIESGOS CLIMÁTICOS Y METEOROLÓGICOS EN COMUNIDADES MARGINADAS DE LAS REGIONES DEL ALTIPLANO, PLANICIE COSTERA Y SIERRA MADRE ORIENTAL DEL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ” que abarca desde febrero 2017 – febrero 2018, el cual está a cargo de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y es financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales cuyo objetivo es el de diseñar estrategias de adaptación, prevención y de alerta temprana, para el fortalecimiento de las comunidades.

El proyecto consta de las siguientes actividades:

- Asamblea general con todos los miembros de la comunidad, para informar las características y/o actividades a realizar durante dicho proyecto; con la finalidad de obtener su participación en el mismo.
- Aplicación de encuestas por unidades familiares, para recabar información de las dimensiones de estudio (agroecológica, ambiental, climática, salud, seguridad alimentaria y social).
- Talleres participativos con la comunidad, con la finalidad de implementar estrategias y mejoras que se desarrollen durante el proyecto.

- Toma de medidas de talla, peso y composición corporal a todos los miembros de la familia para generar un diagnóstico de su estado nutricional.
- Aplicación de cedulas familiares de salud, con el objetivo de conseguir información general de los integrantes de la familia, en temas referentes a: salud, prácticas higiénicas, condiciones de vivienda y del entorno, dotación de servicios.
- Análisis del agua para evaluar su calidad.
- Toma de muestras biológicas (sangre, orina, exudados nasofaríngeos, heces), para conocer el estado general de salud de la población, tal actividad se llevará a cabo por profesionales capacitados y con cedula profesional vigente, con el debido material esterilizado y en buenas condiciones.
- Recorridos con la comunidad para caracterizar y evaluar el entorno.
- Consultas médicas por profesionales de la salud con cedula vigente, donde se llevarán a cabo exploraciones médicas para evaluar el estado de salud de la población.
- El proyecto será completamente confidencial, gratuito y de manera voluntaria; por lo cual el participante está en su derecho de salir del proyecto en cualquier momento, sin tener ninguna repercusión ni ningún tipo de compromiso por parte de los participantes en el proyecto.
- Toda la información de carácter individual que se genere será entregada a cada participante en un sobre cerrado. Además, se organizarán asambleas generales para el análisis de los resultados.

- He leído y comprendido la información anterior y mis preguntas han sido respondidas de manera satisfactoria. Convengo en que mi familia y yo participaremos en el proyecto “EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ASOCIADA A RIESGOS CLIMÁTICOS Y METEOROLÓGICOS EN COMUNIDADES MARGINADAS DE LAS REGIONES DEL ALTIPLANO, PLANICIE COSTERA Y SIERRA MADRE ORIENTAL DEL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ” Recibiré una copia firmada y fechada de esta forma de consentimiento.

Municipio \_\_\_\_\_

Localidad \_\_\_\_\_

Fecha \_\_\_\_\_

Teléfono \_\_\_\_\_

Domicilio \_\_\_\_\_

Nombre y Firma

Responsable

Nombre y Firma

Jefe o jefa de Familia

Dra. Gabriela Domínguez Cortinas

- He leído y comprendido la información anterior y mis preguntas han sido respondidas de manera satisfactoria. Convengo en que mi familia y yo participaremos en el proyecto “EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ASOCIADA A RIESGOS CLIMÁTICOS Y METEOROLÓGICOS EN COMUNIDADES MARGINADAS DE LAS REGIONES DEL ALTIPLANO, PLANICIE COSTERA Y SIERRA MADRE ORIENTAL DEL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ” Recibiré una copia firmada y fechada de esta forma de consentimiento.

Municipio \_\_\_\_\_

Localidad \_\_\_\_\_

Fecha \_\_\_\_\_

Teléfono \_\_\_\_\_

Domicilio \_\_\_\_\_

Nombre y Firma

Responsable

Nombre y Firma

Jefe o jefa de Familia

Dra. Gabriela Domínguez Cortinas

Anexo 2. Puntos de muestreo en la comunidad de Nuevo Aquismón

<b>Núm.</b>	<b>Coordenadas</b>		<b>Altura</b>	<b>Uso de suelo</b>
1	22°21'29.4N	98°48'22W	59	Pecuario
2	22°21'13.5N	98°47'53W	59	Pecuario
3	22°21'12.2N	98°48'36W	60	Agrícola
4	22°21'11.9N	98°49'22W	62	Pecuario
5	22°20'31.3N	98°49'25W	61	Pecuario
6	22°20'36.7N	98°48'17W	65	Pecuario
7	22°20'37.8N	98°47'18W	65	Pecuario
8	22°20'37.2N	98°46'38W	79	Agrícola
9	22°20'38.8N	98°46'0.7W	63	Agrícola
10	22°20'1.8N	98°46'29W	79	Pecuario
11	22°19'51.3N	98°47'31W	58	Pecuario
12	22°20'8.6N	98°48'58W	72	Agrícola
13	22°19'57.N	98°49'38W	72	Pecuario
14	22°19'50.9N	98°49'3W	72	Pecuario
15	22°19'49.1N	98°48'22W	72	Pecuario
16	22°19'49.8N	98°47'11W	58	Pecuario
17	22°19'44.8N	98°46'6.3W	83	Pecuario
18	22°19'30.90N	98°46'30W	70	Pecuario
19	22°19'22.9N	98°47'51W	55	Pecuario
20	22°19'21.3N	98°48'48W	76	Pecuario
21	22°19'8.4N	98°49'28W	82	Pecuario
22	22°19'8N	98°48'12W	79	Pecuario
23	22°19'8N	98°47'8.1W	60	Pecuario
24	22°19'24.3N	98°46'30W	83	Pecuario
25	22°18'48.17N	98°46'30W	71	Pecuario
26	22°20'9.8N	98°48'6.2W	66	Agrícola
27	22°20'31N	98°47'52W	60	Pecuario
28	22°20'51.2N	98°48'3.8W	62	Pecuario
29	22°21'38.9N	98°47'53W	57	Pecuario
30	22°21'21.5N	98°47'17W	58	Pecuario
31	22°18'14.6N	98°46'8.7W	80	Pecuario
32	22°17'55.7N	98°46'22W	70	Pecuario
33	22°21'29.2N	98°46'60W	52	Pecuario
34	22°20'51.7N	98°47'31W	59	Agrícola
35	22°20'25.2N	98°49'46W	68	Pecuario
36	22°20'54.3N	98°50'8.9W	76	Pecuario
37	22°21'26.6N	98°50'10W	67	Pecuario
38	22°17'44.7N	98°46'12W	79	Pecuario



<b>39</b>	22°19'3N	98°49'13W	77	Pecuario
<b>40</b>	22°19'21.7N	98°49'10W	83	Pecuario
<b>41</b>	22°18'50.4N	98°49'42W	79	Pecuario
<b>42</b>	22°19'6.9N	98°47'55W	70	Pecuario
<b>43</b>	22°19'1.8N	98°47'31W	77	Pecuario
<b>44</b>	22°18'27N	98°47'9.6W	84	Pecuario
<b>45</b>	22°18'22.9N	98°47'31W	75	Pecuario