

**DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA PARA ESTIMAR LA DINÁMICA
DE LOS AGOSTADEROS DEL ESTADO DE CHIHUAHUA.**

AMAURY ESQUIVEL ROMO

TESIS

**Presentada como requisito parcial
para obtener el grado de:**

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN ZOOTECNIA**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
Subdirección de Postgrado**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Diciembre, 2013**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO

Diseño y evaluación de un sistema para estimar la dinámica de los
agostaderos del estado de Chihuahua

TESIS

POR:

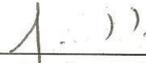
AMAURY ESQUIVEL ROMO

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada como
requisito parcial para optar al grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
EN ZOOTECNIA

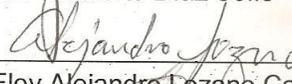
COMITÉ PARTICULAR DE ASESORÍA

Asesor principal:



Dr. Heriberto Díaz Solís

Asesor:



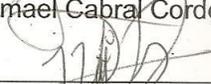
Dr. Eloy Alejandro Lozano Cavazos

Asesor:

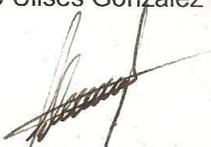


Dr. Ismael Cabral Cordero

Asesor:



Dr. Dino Ulises González Uribe



Dr. Fernando Ruiz Zárate
Subdirector de Posgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
Diciembre, 2013.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de corazón a **Dios** que me bendijo con la vida y la sabiduría para salir adelante.

A mi “**ALMA TERRA MATER**” por haberme abierto sus puertas y brindarme cobijo durante estos dos años de mi maestría.

A mis asesores:

Dr. Heriberto Díaz Solís por todos y cada uno de sus consejos y observaciones para bien llevar a cabo este trabajo y por su gran amistad ofrecida hacia mi persona.

Dr. Eloy Alejandro Lozano Cavazos por su participación como Co-asesor y por su gran apoyo ofrecido para terminar este trabajo.

Dr. Ismael Cabral Cordero por su amistad y apoyo para revisar mi trabajo y por ser parte de mi jurado examinador.

Dr. Dino Ulises González Uribe por sus consejos positivos, ánimos para poder terminar este trabajo y por su amistad y disponibilidad.

Dr. Ricardo Vásquez Aldape. Por todos sus consejos, por su disposición, por su gran amistad.

M.C. Ricardo Aguilera Rangel. Por su gran apoyo y sus buenos consejos hacia mi persona.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Por su apoyo económico para la realización de mi maestría.

Ing. Hilario e **Ing. Abdiel** que siempre estuvieron al pie del cañón en nuestro trabajo de investigación en las buenas y en las malas, “muchas gracias”.

A todos mis compañeros de la maestría: M.C. Misael, M.C. Camerino, M.C. Carlos Eduardo, Dr. Bulmaro, Ing. Fabio, Ing. Adrián, Ing. Oguer, Ing. Tipa, Ing. Cinthia, Ing. Ana Belly, Ing. Teresa, Ing. Angélica, MVZ. Oscar.

DEDICATORIAS

A mis **PADRES** “*Cecilia Romo Martínez y Andrés Esquivel Nava*” por darme la vida porque sin ellos esto no pudiese haber terminado esta etapa de mi vida, por todo su apoyo y ánimos para poder sacar adelante este trabajo y que ante todo siempre han estado a mi lado en las buenas y en las malas.

A mis **Hermanos** “*Andrés Esquivel Romo y Alonso Esquivel Romo*”, que siempre me han ayudado y apoyado para poder terminar este trabajo, porque sin sus ánimos y compañía no sé si pudiera lograr esto.

A mis abuelos *Felipa Martínez Domínguez, Ernesto Romo Hernández, Amparo Nava Ramírez*, porque siempre se ha preocupado por mí, siempre me han llevado por el camino del bien, y siempre me han cobijado con su sabiduría. A mi abuelo Máximo Esquivel Rodríguez que aunque ya no está con migo, siempre me enseñó a ser una persona de bien ante las sociedad, por todos y cada uno de sus buenos consejos. “Gracias Abuelos”.

A toda mi familia, a todos y cada uno de mis familiares por su gran apoyo que siempre me han dado, se los agradezco de corazón que siempre se preocupen por mi “Gracias Familia”

A la familia “**Sosa Flores**” por haberme abierto las puertas de su casa, por darme buenos consejos, por su gran apoyo en el tiempo que estuve conviviendo con cada uno de ellos, muchas gracias por todo lo que hicieron por mí.
“GRACIAS A TODOS POR SU GRAN APOYO”

RESUMEN

Diseño y evaluación de un sistema para estimar la dinámica de los agostaderos del estado de Chihuahua

Por:

Amaury Esquivel Romo

Maestría en Ciencias en Zootecnia

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Diciembre, 2013.

Dr. Heriberto Díaz Solís – Asesor principal

Resumen. Utilizando sensores remotos y un modelo de simulación, se elaboró un sistema que muestra la dinámica de los pastizales del estado de Chihuahua. Se obtuvieron las precipitaciones mensuales observadas (PMO) desde enero del 2009 a abril 2013, esta información se obtuvo mediante la interpolación de los datos obtenidos de una malla climática a 0.5° de la NOAA y la extracción se realizó con una malla de 20x20 km que cubre el estado de Chihuahua. Estas precipitaciones se utilizaron para parametrizar el modelo SESS (Simulador Simple de la Sustentabilidad Ecológica), con el cual se obtuvieron los valores de IEA (Índice del estado del Agostadero). También se obtuvieron mensualmente las imágenes del sensor MODIS (Imagen Espectroradiométrica de Resolución Moderada) desde el mes de marzo 2000 hasta abril 2013, estas imágenes de satélite se procesaron con el programa ArcGis 10 para extraer los valores de NDVI; de esta información se obtuvieron los promedios históricos de NDVI para cada mes del año. Se presenta y compara la dinámica de 2009 a

2013 de las variables precipitación mensual observada (PMO), índice de estado del agostadero (IEA) y la relación entre el NDVI del mes actual, entre el NDVI promedio histórico del mismo mes (PNDVI). Se estudió un método de clasificación de imágenes digitales para la estimación de la producción de gramíneas. Se establecieron 39 sitios de muestreo en el estado de Chihuahua, Coahuila y Nuevo León, en cada uno de los puntos se tomaron 20 fotografías al azar en cada una de las épocas del año. Las imágenes fotográficas fueron clasificadas en el programa ENVI 4.3, los resultados mostrados por el programa y la relación con los datos observados en campo presento una $r=0.6$ para la cobertura de gramíneas, y una $r=0.4$ para el peso observado y predicho por el programa ENVI 4.3.

Palabras clave: NDVI, P-NDVI, IEA, Precipitación, imágenes fotográficas, forraje.

ABSTRACT

Design and Evaluation of a System to Estimate Rangeland Dynamics

Chihuahua State.

By.

Amaury Esquivel Romo

Master of Science in Animal Science

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. December, 2013.

Dr. Heriberto Díaz Solís – Sénior adviser

Abstract. Using remote sensing and a simulation model, was developed a system that shows the dynamics of grasslands in the state of Chihuahua. Were obtained monthly rainfall observed (PMO) from January 2009 to April 2013, this information was obtained by precipitation interpolation of data obtained from a 0.5 ° mesh climatic NOAA and the extraction was performed with a grid of 20x20 km that covers the state of Chihuahua, This precipitation were used to parameterize the model SESS (Simple Simulation of Ecological Sustainability), with which values were obtained from IEA (Rangeland status index). Besides images were obtained monthly MODIS sensor (Moderate Resolution Image Espectroradiometrica) from the month of March 2000 to April 2013, these satellite images were processed with the program ArcGIS 10 to extract NDVI values, this information was obtained NDVI historical averages for each month of the year. It presents and compares the 2009-2013 dynamics of the observed monthly precipitation variables (PMO), rangeland state index (IEA) and the relationship between the NDVI for the current month, between the historical averages NDVI of the same month (PNDVI).

We studied a method of digital image classification for the estimation of grass production. Were established 39 sampling sites in the state of Chihuahua, Coahuila and Nuevo Leon, in each one of the 20 photographs were taken randomly in each of the seasons. The images were classified in the program ENVI 4.3, the results shown by the program and the relationship with the observed data in the field present a ($r = 0.6$) for grass cover, and one ($r = 0.4$) for the observed weight and predicted by the program ENVI 4.3.

Keywords: NDVI, P-NDVI, IEA, precipitation, photographic images, forage.

Índice General

Índice General	ix
Índice de Cuadros.....	x
Índice de Figuras	xi
I. INTRODUCCION	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
Ecosistema del estado de Chihuahua	3
Sistemas de Información Geográfica	4
Monitoreo y modelo SESS	6
Índice de Vegetación	10
Doble Muestreo	13
ENVI 4.3 Visualizador y Clasificador de Imágenes	14
III. MATERIALES Y METODOS.....	15
SISTEMA DE SEGUIMIENTO	15
Precipitación Mensual.....	15
NDVI (Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada).....	15
PNDVI (Proporción del NDVI)	16
IEA (Índice de Estado de Agostadero)	16
Fotografía Digital y Muestreo en Campo.....	16
Captura de la Información Fotográfica	20
Análisis de la Fotografía Digital	21
Estimaciones de campo.....	22
IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
SISTEMA DE SEGUIMIENTO.....	23
Precipitación Mensual.....	23
NDVI Mensual	31
NDVI Estatal	36
PNDVI Mensual	39
PNDVI Estatal	46

IEA Mensual	50
Promedio IEA.....	56
Relación Entre La Precipitación Mensual Observada (PMO), P-NDVI E IEA.	59
FOTOGRAFIA DIGITAL Y MUETREO EN CAMPO	65
Relación de los datos de porcentaje de cobertura obtenidos con el programa ENVI 4.3 y las estimaciones en campo.....	67
V. CONCLUSIONES	70
VI. LITERATURA CITADA.....	72
VII. APÉNDICE	78

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Sitios de muestreo georreferenciados.....	17
Cuadro 2.- Fechas de los recorridos en campo en las diferentes estaciones del año	18

Índice de Figuras

Figura 1.- Distribución de los sitios permanentes de muestreo en los tres estados.	19
Figura 2.- Equipo para la toma de la fotografía digital A).- Cámara Sony, B).- Disparador, C).- Cable, D).- Bastón y E).- GPS.	20
Figura 3.- Fotografía digital tomada a 4.2 m de altura con un área de estudio de 1 m ²	21
Figura 4.- Comportamiento de la precipitación mensual observada (PMO) y la precipitación acumulada (PACU) en el municipio de Ojinaga, Chih.	24
Figura 5.- Comportamiento de la precipitación mensual observada (PMO) y la precipitación acumulada (PACU) en el municipio de Camargo, Chih.	25
Figura 6.- Comportamiento de la precipitación mensual observada (PMO) y la precipitación acumulada (PACU) en el municipio de Ahumada, Chih.	26
Figura 7.- Comportamiento de la precipitación mensual observada (PMO) y la precipitación acumulada (PACU) en el municipio de Guachochi, Chih.	28
Figura 8.- Mapas correspondientes a la Precipitación Anual (Observado/Esperado) de los años 2009 al 2012.....	30
Figura 9.- Comportamiento del NDVI mensual de los años 2009 a abril 2013 para el municipio de Ojinaga.	32
Figura 10.- Comportamiento del NDVI mensual de los años 2009 a abril 2013 para el municipio de Camargo.....	33
Figura 11.- Comportamiento del NDVI mensual de los años 2009 a abril 2013 para el municipio de Ahumada.	35
Figura 12.- Comportamiento del NDVI mensual de los años 2009 a abril 2013 para el municipio de Guachochi.	36
Figura 13.- Mapas correspondientes al NDVI para los meses de abril, julio, octubre y diciembre de los años 2009 y 2010.	37
Figura 14.-Mapas correspondientes al NDVI para los meses de Abril, Julio, Octubre y Diciembre de los años 2011 y 2012.....	39
Figura 15.- Comportamiento del P-NDVI mensual de los años 2009 al 2013 en el municipio de Ojinaga Chih.	41
Figura 16.- Comportamiento del P-NDVI mensual de los años 2009 al 2013 en el municipio de Camargo, Chih.....	42
Figura 17.- Comportamiento del P-NDVI mensual de los años 2009 al 2013 en el municipio de Ahumada, Chih.	44
Figura 18.-Comportamiento del P-NDVI mensual de los años 2009 al 2013 en el municipio de Guachochi, Chih.....	45
Figura 19.- Mapas correspondientes al comportamiento del P-NDVI en los meses de Abril, Julio, Septiembre, Octubre y Diciembre de los años 2009 y 2010.	47
Figura 20.- Mapas correspondientes al comportamiento del P-NDVI en los meses de Abril, Julio, Septiembre, Octubre y Diciembre de los años 2011 y 2012.....	49

Figura 21.- Distribución del IEA mensual de los años 2009 al 2013 en el municipio de Ojinaga, Chih.	51
Figura 22.- Distribución del IEA mensual de los años 2009 al 2013 en el municipio de Camargo, Chih.....	52
Figura 23.- Distribución del IEA mensual de los años 2009 al 2013 en el municipio de Ahumada, Chih.	53
Figura 24.- Distribución del IEA mensual de los años 2009 al 2013 en el municipio de Guachochi, Chih.	55
Figura 25.- Mapas correspondientes al promedio anual del IEA de los años 2009 al 2012.	58
Figura 26.- Relación del P-NDVI, IEA Y PMO para el municipio de Ojinaga, Chih.....	60
Figura 27.- Relación del P-NDVI, IEA Y PMO para el municipio de Camargo, Chih.	61
Figura 28.- Relación del P-NDVI, IEA Y PMO para el municipio de Ahumada, Chih.	63
Figura 29.- Relación del P-NDVI, IEA Y PMO para el municipio de Guachochi, Chih.	64
Figura 30.- Fotografía del 01 del sitio13 en el estado Chihuahua	65
Figura 31.- Fotografía 01 del sitio 13 en el estado Chihuahua clasificada con el programa ENVI 4.3.	66
Figura 32.- Archivo de salida *.txt con los datos de porcentaje de cobertura obtenidos de la clasificación con el programa ENVI 4.3.....	66
Figura 33.- Distribución de los datos obtenidos con el programa ENVI 4.3 con los valores de cobertura (%) observados en campo.	68
Figura 34.- Distribución de los pesos (g/m ²) estimados y predichos mediante el método de doble muestreo.	69
Figura 35. Bitácora del muestreo en campo.....	78

I. INTRODUCCION

Los estados del norte de México: Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Durango, Zacatecas y San Luis Potosí conforman gran parte del desierto chihuahuense el cual tiene una extensión aproximada de 630,000 km² y una gran importancia biológica, forestal y ganadera, sólo que actualmente se encuentra en crisis debido al sobre-pastoreo, la sobre explotación de los mantos acuíferos, la deforestación y sobre todo al desconocimiento sobre la importancia de los recursos que ofrece el desierto. En el estado de Chihuahua existen 4.6 millones de hectáreas de pastizales en la parte semiárida central del estado (SAGARPA, 2003). Las características ecológicas del estado de Chihuahua se conjugan para presentar a la entidad por su gran capacidad agropecuaria y sus recursos naturales, estas dos actividades exigen un estudio y evaluación de los múltiples factores bióticos y del medio ambiente en que se desarrollan entre ellos los ecosistemas que predominan en el estado como los son: pastizales medianos abiertos, los pastizales amacollados, los pastizales halófitos, con el objetivo de conservarlos y/o mejorarlos dentro de las normas de manejo y administración sustentable de los recursos naturales (UACH, 2008). Para poder tener un monitoreo continuo del estado se están implementando y utilizando los sistemas de información geográficas e imágenes (escenas) tomadas por el sensor MODIS (Imagen de Resolución Moderada Espectroradiométrica) el cual está instalado en el satélite TERRA de la NASA, con las cuales se obtiene el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), dicho índice se utiliza para determinar cómo se

encuentra el vigor de la vegetación a lo largo de los meses del año y con lo anterior poder ofrecer información actual y relevante de la condición de los pastizales del estado de Chihuahua.

OBJETIVO GENERAL:

- Desarrollar un sistema de seguimiento de los agostaderos del estado de Chihuahua de bajo costo y preciso, y que ayude a la toma de decisiones del productor y a las dependencias de gobierno.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Estimar la dinámica de los agostaderos mediante un índice obtenido de sensores remotos (NDVI) y un índice de un modelo de simulación (IEA).
- Determinar la relación entre ambos índices (NDVI y IEA).
- Determinar la relación que existe entre la producción de biomasa de los sitios observados y las fotografías digitales de los mismos.
- Generar una base de datos históricos y actuales relevantes para tener un respaldo suficiente al concluir sobre el estado actual y los cambios que han sufrido los agostaderos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Ecosistema del estado de Chihuahua

Los pastizales son ecosistemas caracterizados por presentar una vegetación abierta dominada por especies herbáceas y cuya producción primaria es aprovechada directamente por los herbívoros, además son zonas con producción relativamente baja que no son adecuadas para usos agrícolas intensivos (Miller, 1990 citado por Rebollo, 2003).

Los pastizales son un ejemplo de biodiversidad y son el sistema de producción natural para la ganadería y vida silvestre. Se requiere urgentemente un ordenamiento territorial y una reglamentación estricta del uso de agostaderos para poder iniciar su recuperación (Tarango, 2007).

Challenger y Soberón, (2008) comentan que gran parte de los pastizales se encuentran en los estados del norte como lo son: Sonora, Chihuahua, Coahuila y Durango, los pastizales naturales son de 18.68 millones de hectáreas en el 2005 según información del INEGI, actualmente cubre 6.38 % de la superficie de México, 8.42 millones de hectáreas se encuentra en estado natural, mientras 4.12 millones están en condición secundaria y 1.07 están sin clasificar, a todo esto se le debe de agregar que existen 6.34 millones de hectáreas de pastizales inducidos por las actividades ganaderas principalmente.

Melgoza, (2006) dice que los agostaderos son áreas naturales que por tener ciertas características no son apropiadas para la agricultura, las cuales

comprenden diversos tipos de vegetación, desiertos, matorrales, pastizales, bosques y áreas ribereñas, dentro de los principales servicios que ofrecen estas áreas en la actualidad es la agricultura, es en esta área donde se señaló desde 1985 las problemáticas que presentaban los agostaderos las cuales son: sobrepastoreo, erosión, invasión de arbustivas, plantas tóxicas, etc. Ante esta situación se de tener diversificación de sistemas de producción para recuperar los agostaderos deteriorados, es por ello que para determinar las áreas prioritarias y elegir las prácticas más eficientes el USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) conjuntamente con la SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca) han desarrollado un rápido método de evaluación del estado de la salud de los agostaderos este hace énfasis en tres atributos del pastizal: funcionalidad hidrológica, integridad biótica y estabilidad del suelo, a partir de estos atributos se pueden evaluar mediante 17 indicadores: canalillos, patrones de escurrimientos, pedestales, suelo desnudo, canales, erosión eólica, movimiento de mantillo, resistencia de la superficie del suelo a la erosión, pérdida de la superficie del suelo, composición de la comunidad vegetal, compactación del suelo, grupos funcionales de plantas, mortalidad de plantas cantidad de mantillo, producción anual, plantas invasoras, vigor de las plantas, una vez que haya clasificado la salud del pastizal ahora solo resta continuar con el monitoreo para descartar posibles cambios del pastizal, y finaliza comentando que importancia de monitorear es hacer eficiente el uso de los recursos para asegurar la estabilidad de los mismos.

Sistemas de Información Geográfica

La percepción remota comenzó hace unos 600 millones de años cuando alguna forma inferior de vida animal diferencio algunas de sus células volviéndolas fotosensibles, durante millones años dicho rudimento fotosensible evoluciono convirtiéndose en el ojo humano. Este origino a un imitador mecánico el cual fue la cámara fotográfica, que hizo su aparición hace algo más de un siglo, la cual ha

sido mejorada desde su creación. El salto cuántico de la percepción remota se realizó en la década de 1960 cuando las imágenes y los sensores electrónicos multiespectrales de las plataformas espaciales desplazaron a las imágenes aéreas (Martínez *et al.* 2005).

Los sensores remotos permiten capturar información de los objetos o áreas sin tener que visitarlas o tener contacto con ellas, tiene un gran uso en aplicaciones sobre los Recursos Naturales dado a que proporcionan información confiable sobre superficies extensas y con una alta precisión y costos razonables, el uso de los sensores remotos fluctúa en la construcción de mapas, planos, interpretación de los recursos, planificación territorial, estudios urbanos, etc. (Martínez *et al.* 2005).

Un sistema de información geográfica (SIG) es una integración organizada de hardware, software, datos geográficos y personal, diseñado para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión, es decir, para la toma de decisiones. En un sentido más restringido los SIG son cartografía por computadora, o software tales como el CAD, ARCMAP, estos dos programas son de gran utilidad y su potencia reside en la capacidad de procesar la información, la cual se usa para construir modelos y representaciones del mundo real a partir de una base de datos digital (Zarate, 2007).

Flamenco (s/a) comenta que un sistema de información geográfica es un conjunto de elementos de distinta naturaleza cuyo objetivo es llevar tareas de acopio, almacenamiento, manipulación, análisis, medición, transformación, y representación de información que tiene una referencia espacial o geográfica que permita añadir la dimensión temporal, ya sea por la naturaleza de los datos, su capacidad de actualización y algunos procesos de análisis, como las series de tiempo.

El uso de la tecnología satelital es de mucha ayuda ya que en los años 70's se trabajaba con fotografías a blanco y negro, y que hace desde poco más de 10 años en Argentina se implementó un nuevo uso de la tecnología satelital gracias al uso de la computadora y a la accesibilidad de imágenes de satélite de alta resolución, las cuales han hecho de esta tecnología una herramienta muy útil, accesible y eficiente para el manejo y monitoreo de los campos, siempre y cuando sean manejados correctamente y complementados con otra información disponible que sirva para sustentar y apoya la toma de decisiones según (Di Bella, 1997).

Los sensores remotos instalados en las plataformas satelitales y que están disponibles desde los años 70's, con una tecnología de carácter exhaustiva y con resolución temporal de revista precisa al mismo sitio, pasan a ser los sensores remotos los que brindan una oportunidad única de reconstruir la historia de manejo y efectos climáticos de la vegetación en México, para lograr lo anterior los sensores remotos hacen una caracterización de la vegetación usando el alto contraste entre una banda fotosintética como la roja (R) y una no fotosintética como el infrarrojo cercano (IRC) según (Pellat *et al.*, 2011).

Monitoreo y modelo SESS

Ramírez *et al.*, (2009) comenta que el monitoreo es una herramienta que permite dar seguimiento a tendencias de cambio en indicadores relacionados al manejo de ecosistemas algunos indicadores son: pérdida de suelo; diversidad, condición, cobertura y producción de materia seca vegetal, así como interpretar las relaciones entre diferentes variables mediante la observación de cambios en las tendencias, el monitoreo sustenta sistemáticamente la toma de decisiones de manejo para la conservación y mejoramiento de los recursos naturales.

El sensor MODIS (Imagen de Resolución Moderada Espectroradiométrica) instalado en el satélite TERRA, es un sensor que recolecta información sobre el verdor de la vegetación, por medio del NDVI (Diferencia Normalizada de la

Vegetación) y el EVI (Índice Vegetativo Perfeccionado), además ofrece la habilidad de recolectar datos a una resolución de 250 metros comparados con los 1000 metros de resolución que ofrece el AVHRR (Martínez *et al.*, 2005).

El monitoreo es fundamental para la gestión, evaluación y seguimiento de los extensos paisajes y más aun con el uso de los sensores de los satélites que están situados en el espacio y que nos proporcionan imágenes de una alta resolución para las evaluaciones a nivel de paisaje, suelo desnudo y otros indicadores, estos procesos de monitoreo de la vegetación, con el uso de sensores remotos presentan una gran facilidad ya que este sistema es práctico y de bajo costo.

Rovajob *et al.*, (2010) menciona que un sistema de monitoreo puede descubrir todos los procesos que comprenden a este sistema complejo y ofrecer soluciones para el uso sostenible de los recursos tales como la gestión sostenible de la vegetación, la prevención de los procesos de degradación y mejorar las condiciones de los pastizales. La disponibilidad de los datos de la teledetección con alta resolución espacial y temporal permite la realización de investigaciones sobre el seguimiento y la evaluación de la condición actual de la vegetación de los pastizales.

El objetivo del monitoreo a largo plazo es documentar los cambios en la importancia de las comunidades biológicas de interés para el investigador, un seguimiento a largo plazo del sistema ecológico deben de estar diseñados para detectar tendencias que puedan ser afectadas a largo plazo tales como: el suelo y la estabilidad del sitio, la función hidrológica y la integridad biótica del sistema. Para poder dar seguimiento conjuntamente con el monitoreo el autor comenta que hay cuatro lineamientos importantes para determinarlos, los cuales son: 1) la identificación de un conjunto de indicadores que estén constantemente correlacionados con el estado funcional de uno o más de los procesos de los ecosistemas, 2) la selección de indicadores en base a los objetivos específicos del sitio y los problemas de recursos del suelo, 3) usando la variabilidad espacial

en el desarrollo y la interpretación de indicadores para hacer más representativos los procesos ecológicos, 4) indicadores en el contexto de una comprensión de los procesos ecológicos dinámicos (Havstad y Herrick, 2003).

Schino *et al.*, (2003) menciona que uno de los principales problemas en la gestión de los campos utilizados para el pastoreo extensivo es la dificultad de obtener datos confiables de las estimaciones de biomasa en áreas muy grandes, tales estimaciones pueden ser de gran utilidad como indicadores de la disponibilidad de forraje y para estimar el riesgo de la erosión del suelo, sin embargo las mediciones de campo a grande escala son caras y consumen mucho tiempo, es por ello que se sugiere el uso de imágenes de satélite como un método para estimar la biomasa en áreas muy grandes a costo mucho más razonable, se usó las imágenes de alta resolución que proporciona el satélite LANDSAT TM para la determinación del Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada (NDVI) ya que tales imágenes que provee el satélite LANDSAT cuentan con siete bandas espectrales diferentes las cuales facilitan la obtención del (NDVI), este autor comenta que comparo y correlaciono la información de cuatro muestreos en noventa parcelas y encontró una correlación alta entre los muestreos de verano y el (NDVI) obtenido del LANDSAT ya que biomasa se encontraba en estado verde, en comparación con la correlación que se obtuvo en invierno que es cuando la biomasa encuentra en estado seco.

Di Bella (1997) comenta que un satélite está compuesto por una serie de sensores que registran la radiación reflejada por los diferentes objetos que se encuentran en la superficie de la tierra en las diferentes longitudes de onda, toda la información recibida por los sensores del satélite es almacenada y decodificada por una serie de sensores y antenas, posteriormente en la tierra una serie de ordenadores procesan la información y generando productos utilizables para el usuario, esta información contiene la radiación solar reflejada por cada una de las coberturas de la superficie terrestre de manera diferencial de las longitudes de onda, los cuerpos de agua tienden a reflejar una escasa

proporción de la radiación solar en todas las longitudes de onda, el suelo desnudo refleja gran parte de la radiación solar, la vegetación que se encuentra en estado fotosintético activo refleja muy poca radiación en las longitudes de onda del visible y una alta proporción en el infrarrojo cercano y la vegetación que se encuentra en senescencia tiene un comportamiento diferente en el espectro del visible.

Anaya *et al.*, (2008) proponen un método para aumentar el nivel de detalle en estimaciones regionales de biomasa aérea basados en los productos del sensor MODIS y mediciones de biomasa aérea en campo, la vegetación en la que trabajaron la clasificaron de tres maneras, bosque secundario, bosque primario y pastizal con el fin de mejorar sus estimaciones, para ello usaron dos variables el MOD 44 para bosques secundarios y primarios y el EVI (MOD 13 A 1) para los pastizales encontrando que el MOD 44 no funciona ya que estas áreas son las complicadas para determinar su biomasa debido a que las técnicas de teledetección usadas en este trabajo no cumplían con el rango óptico para las áreas boscosas. Por otro lado se encontró una alta correlación entre la biomasa de los pastizales con el índice de vegetación (EVI) debido principalmente al verdor de la biomasa en virtud con los cambios de la precipitación, y concluyendo que los valores más bajos corresponden a las épocas secas y los valores más altos a las épocas de lluvia.

El modelo SESS es un simulador simple de la dinámica de crecimiento de forraje, de cultivos permanentes y de la producción de ganado para evaluar la sustentabilidad ecológica de las alternativas de manejo de sistemas extensivos del Noreste de México (Díaz *et al.*, 2001).

Díaz (2003) habla que SESS es un programa de computadora que describe el proceso dentro de cada rancho desde que cae la lluvia hasta el destete de los becerros, SESS para hacer la simulación considera la variabilidad de la lluvia para simular la producción de forraje, su utilización y producción animal en el

sistema de producción vaca-becerro el cual es muy usado en el norte de México. El modelo SESS necesita de 7 datos para realizar la simulación:

- 1.- La precipitación promedio anual.
- 2.- Numero de vientres del rancho (si hay más animales se deben convertir a unidades animal (UA) para agregarlos al modelo).
- 3.- Superficie pastoreable del rancho
- 4.- Condición del pastizal
- 5.- Características del suelo
- 6.- Condición corporal de las vacas
- 7.- Primer mes del empadre

Con los datos anteriores el modelo es capaz de iniciar con la simulación e iniciar a proporcionar la información para cada uno de los ranchos

Índice de Vegetación

El Índice de la Vegetación de la Diferencia Normalizada, mejor conocido con sus siglas NDVI puede ser usado como un indicador de biomasa o grado de verdor de la cubierta vegetal (Boone *et al.*, 2000). Los índices normalizados de vegetación fueron productos diseñados para ser operacionalmente aplicados antes del lanzamiento de satélites de observación de la tierra. El monitoreo de la cubierta vegetal del país se realiza mediante la comparación anual del NDVI estimado a partir de la *imágenes* satelitales del sensor MODIS (Imagen de Resolución Moderada Espectroradiométrica) ubicados en los satélites "TERRA y AQUA" (CONAFOR, 2011).

Bendersky (2011) indica que el NDVI o el índice verde es un producto derivado de las imágenes de satélite que nos permiten detectar la actividad fotosintética de las plantas, es decir que nos orienta acerca de cuanto puede estar creciendo el pastizal, los valores que presenta el índice oscilan entre -1 para cuerpo de agua y

1 para las cubiertas vegetales sanas, en activo crecimiento y sin síntomas de senescencia con el 100% de la cobertura del suelo. Cada una de las plantas que están dentro de la vegetación presente tiene una característica diferente dentro del índice, esto depende del tipo de vegetación, el tipo de suelo y el clima.

Martínez *et. al.*, (2005) dice que una imagen satelital es una matriz digital de puntos capturada por un sensor montado a bordo de un satélite que orbita alrededor de la tierra y que a medida que el satélite avanza en su órbita va “barriendo” la superficie con un conjunto de detectores registran la energía reflejada.

La fusión de imágenes multi-espectrales con imágenes de alta resolución espacial permite analizar atributos de los pastizales, como unidades de vegetación, su distribución espacial y temporal, condición y características fisiográficas y ambientales (Hernández, 2007).

Sandoval (2003) comenta que al trabajar con imágenes NOAA-AVHRR(Radiómetro de Muy Alta Resolución Avanzada) arrojan estimaciones muy aproximadas a las superficies afectadas, además que son valiosas y confiables para situaciones de emergencia, donde los datos que permiten hacer una estimación de un área en conflicto son carentes, por otro lado con el uso de imágenes de satélite de mayor resolución como las LANDSAT ETM7+ permitieron hacer una mejor estimación para los parámetros o al menos una mejor aproximación a la realidad.

Laliberte *et al.*, (2010) dice que para supervisar, evaluar y valorar las condiciones de la vegetación de millones de hectáreas de pastizales son costosas e ineficaces para estas grandes áreas, las ofertas están presentadas con el uso de las imágenes digitales ya que son fáciles de obtener y aumentan el potencial de supervisión de grandes áreas ya que son fáciles de clasificación y por lo mismo reducen los costos de la supervisión.

Zerda y Tiedemann. (2010) comentan que la dinámica del bosque y de los pastizales naturales están influenciados por el modelo regional de

precipitaciones, logrando así que la vegetación responda y alcanzando mayores valores de NDVI durante la época de lluvias y valores menores de NDVI durante la estación seca invernal. Indican que el bosque presenta una mayor estabilidad en comparación con el pastizal natural ante las variaciones de la precipitación y temperatura, deducen también a que son plantas de porte leñosos y de raíces profundas es por ello lo de su resistencia y estabilidad, en comparación con la del pastizal natural que es de porte herbáceo y de raíces superficiales, lo anterior origina que la curva del NDVI del pastizal se muestre afectada por la intensidad de los rayos solares y la evapotranspiración lo cual repercute en el vigor de la planta y este en la curva del NDVI, demuestran también que existe una significancia entre las dos coberturas, el bosque tubo una mayor estabilidad anual ya que resiste más los factores ambientales y el pastizal natural esta propenso a soportar la carga animal, la falta de agua, pero concluyendo que ambas coberturas tienden a influenciar su valor de NDVI respecto a la precipitación que se presente en el sitio.

Medina *et al.*, (2009) hablan que debido a las grandes extensiones de pastizales con las que cuenta el estado de Zacatecas y ante la necesidad de valorar la producción de la materia seca en los pastizales, es necesario implementar herramientas de medición técnica y económicamente factibles como es el caso de este trabajo en el cual se usó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), el cual se ha usado con éxito para estimar la producción primaria neta de los pastizales, el objetivo de este trabajo fue ajustar un modelo de regresión múltiple con base a datos del estrato herbáceo y sus valores correspondientes del NDVI, encontraron que el modelo resulto significativo para solo tres meses los cuales fueron Agosto, Septiembre y Octubre, explicando que esta respuesta se debía a que son los meses que corresponden a la época de lluvia del altiplano Zacatecano, demostrando que la vegetación entre más vigorosa se encuentre hay una mejor relación con los valores de NDVI, en comparación con los meses de la época seca que no demostraron significancia entre su NDVI y el modelo de regresión, concluyen al final que el modelo obtenido

con un coeficiente de determinación de 0.66 se considera aceptable tomando en cuenta la gran variabilidad que se presenta en los agostaderos.

Yu-Chen *et al.*, (2006) mencionan que evaluaron el crecimiento y comportamiento del maíz en el occidente de México usando los índices de Vegetación uno del satélite SPOT Vegetation (VGT) contra el Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada obtenidos del sensor MODIS del satélite TERRA y encontrando, que los componentes del sensor MODIS registraron señales de la vegetación desde los primeros 30 días después de la siembra y dedujeron que correspondía al color verde del maíz, en comparación de los registros que captó el (VGT) del SPOT vasados en el método de los valores máximos de reflectancia que iniciaron a captar información después de los 80 días después de la siembra, lo que hace creer que se enmascara la información de la fase inicial vegetativa del cultivo y pasándose hasta la etapa de reproducción del mismo, entonces un periodo amplio del desarrollo del cultivo no es captada por el (VGT) del SPOT, y deduciendo que la resolución del MODIS de 250 m es capaz de proporcionar información más precisa del comportamiento vegetativo del cultivo del maíz.

Doble Muestreo

El método de doble muestreo para la evaluación de pastizales y recursos forrajeros, fue desarrollado por Haydock y Shaw en 1975. El método trata de usar unidades de muestreo en los cuales se estiman visualmente la cantidad de materia seca que encierra cada unidad de muestreo y posteriormente cortar el forraje de solo algunas de unidades de muestreo, para luego realizar las correlaciones (Díaz 2007).

Las estimaciones visuales de la biomasa pueden ser calibradas mediante el corte de algunas parcelas después de las estimaciones que se realizaron, a este procedimiento se le llama muestreo doble, y básicamente requiere que el investigador estime el peso de varias parcelas y luego corrobore la exactitud de las estimaciones con el peso real de algunas parcelas. El número de parcelas que se deben cortar depende principalmente de la variación de fitomasa que hay

de parcela a parcela y de la exactitud de las estimaciones del observador (Universidad de Idaho s/a).

ENVI 4.3 Visualizador y Clasificador de Imágenes

ENVI es un software para el procesamiento y análisis de imágenes geoespaciales utilizado por profesionales GIS, científicos, investigadores, y analistas de todo el mundo. ENVI a través de su interface intuitiva y fácil de usar le permite extraer información a partir de sus imágenes, haciendo más fácil que nunca, leer, estudiar, preparar, analizar y compartir información como imágenes de satélite o fotografías aéreas.

HIPOTESIS:

- Es posible desarrollar un sistema de monitoreo de agostaderos que sea económico y de alta precisión, y que sus resultados sean aplicables.
- El índice del modelo SESS (IEA) muestra una dinámica semejante a la del índice obtenido de sensores remotos (PNDVI).

III. MATERIALES Y METODOS

SISTEMA DE SEGUIMIENTO

Precipitación Mensual.

Con el uso de una malla de puntos de 20 X 20 km en el estado de Chihuahua tiene un total de 647 puntos, los cuales se utilizaron para extraer valores de precipitación mensual, a partir de la interpolación de los datos de precipitación de la malla mundial de la NOAA (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica) <ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/precip/> . Las series de precipitación mensual de 2009 a 2013 de los 647 puntos, se usaron para parametrizar el modelo SESS y obtener el IEA (Índice de Estado de Agostadero).

NDVI (Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada)

La información primordial para obtener estos datos, son las imágenes (escenas) obtenidas del sensor MODIS (Imagen Espectroradiométrica de Resolución Moderada) el cual está instalado a bordo del satélite TERRA de la NASA <http://e4eil01.cr.usgs.gov:22000/WebAccess/drill;jsessionid=C3697E4E9FFFA2324A8311C7C470D94C?next=esdt&revisit=yes&esdt=MOD13A2.3&group=MOLT>

Una vez que se tiene dicha información, se realizó una extracción por puntos con el programa ArcGis 10 para obtener el NDVI en una malla de puntos de 500 X 500 m, con un total de 984,516 puntos en el estado de Chihuahua.

PNDVI (Proporción del NDVI)

Esta variable se obtiene de los valores de NDVI anteriormente descritos. Es el cociente del NDVI actual entre el NDVI histórico, esto se expresa con la siguiente ecuación:

$$\text{PNDVI} = \text{NDVI actual} / \text{NDVI histórico}$$

IEA (Índice de Estado de Agostadero)

Este índice es obtenido del Simulador simple de la sustentabilidad Ecológica (SESS), el cual es parametrizado con información climatológica. SESS calcula IEA como la relación entre la biomasa seca del suelo (kg/ha) en el mes actual y la biomasa sobre el suelo promedio histórica para el mismo sitio.

Cuando este índice presenta valores por encima de 1, indica que en el mes actual existe más biomasa sobre el suelo que la biomasa histórica promedio para ese mes y viceversa.

Fotografía Digital y Muestreo en Campo

El presente estudio se llevó a cabo en los estados de Chihuahua, Coahuila y Nuevo León. En estos estados se establecieron sitios permanentes de muestreo en los cuales se determinó la cantidad de biomasa existente mediante la fotografía digital y los datos obtenidos con la metodología del doble muestreo.

En total se ubicaron 39 sitios permanentes de muestreo los cuales fueron tomados con un GPS "Garmin etrex", 16 de ellos están ubicados en el estado de Chihuahua, en NL y en Coah, (Cuadro 1).

Cuadro 1 Sitios de muestreo georreferenciados

ID	X	Y	DATUM	ALTITUD MSNM	ID	X	Y	DATUM	ALTITUD MSNM
1	323411	2786642	WGS84	2001	21	302421	3073042	WGS84	1321
2	336074	2775325	WGS84	1888	22	322283	3064195	WGS84	1450
3	353123	2759767	WGS84	1888	23	332020	3055816	WGS84	935
4	362549	2748708	WGS84	1888	24	573505	2951305	WGS84	1027
5	423897	2767312	WGS84	496	25	553090	2968042	WGS84	1487
6	372463	3005820	WGS84	1404	26	539715	2978526	WGS84	1360
7	351492	2960475	WGS84	1205	27	509280	3034378	WGS84	1354
8	268257	2816589	WGS84	1352	*28	492863	3057739	WGS84	1313
9	258518	2827234	WGS84	1131	29	474162	3089359	WGS84	1092
10	254464	2817288	WGS84	1141	30	419578	3145434	WGS84	1092
11	248147	2836537	WGS84	1212	31	428184	3198427	WGS84	954
12	233815	2840937	WGS84	1188	32	441439	3215613	WGS84	879
*13	218660	2841477	WGS84	1208	33	457068	3228391	WGS84	448
14	201369	2840297	WGS84	1328	34	559353	3248624	WGS84	400
15	708715	2863514	WGS84	1425	35	554710	3234546	WGS84	323
16	725976	2880505	WGS84	1296	36	546364	3138457	WGS84	302
17	725169	2894907	WGS84	1276	37	538205	3106766	WGS84	288
18	742373	2923476	WGS84	1235	38	524553	3080244	WGS84	236
19	256105	3004204	WGS84	1465	39	511910	3069014	WGS84	415
20	272026	3011670	WGS84	1297				WGS84	

El Cuadro 2, muestra el inicio y el final de cada uno de los recorridos por los 39 que están ubicados en los tres estados en estudio Chihuahua, Coahuila y Nuevo León.

Cuadro 2.- Fechas de los recorridos en campo en las diferentes estaciones del año

MUESTREO	INICIO	FINAL
P	15 de mayo de 2012	22 de mayo de 2012
V	29 de agosto de 2012	05 de septiembre de 2012
O	04 de diciembre de 2012	11 de diciembre de 2012
I	25 de marzo de 2013	01 de abril de 2013

P- primavera, V- verano, O- otoño, e I- invierno.

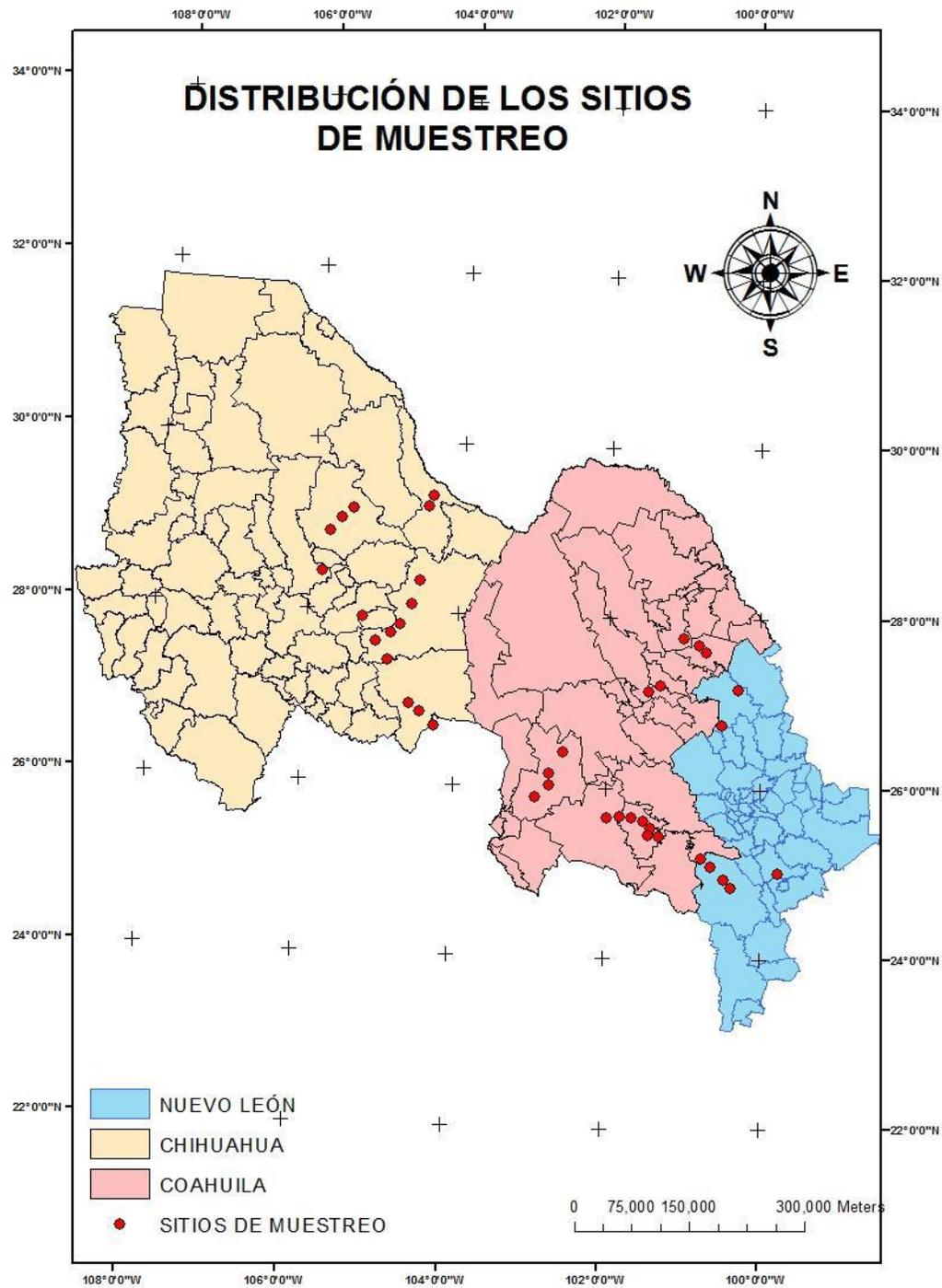


Figura 1.- Distribución de los sitios permanentes de muestreo en los tres estados.

Captura de la Información Fotográfica

Para la toma de información fotográfica en campo se utilizó un bastón teleférico de 3.5 m de longitud, en el cual en su parte superior se le coloca una cámara digital de la marca SONY (7.2 mega pixeles), con el propósito de tomar fotografías aéreas a 4.2m aproximadamente. La superficie de la fotografía tomada fue de 12.4 m² estas se tomaron en forma aleatoria en 20 puntos y en línea recta dentro de el mismo sitio permanente de muestreo.

Los componentes principales del equipo se muestran a continuación:

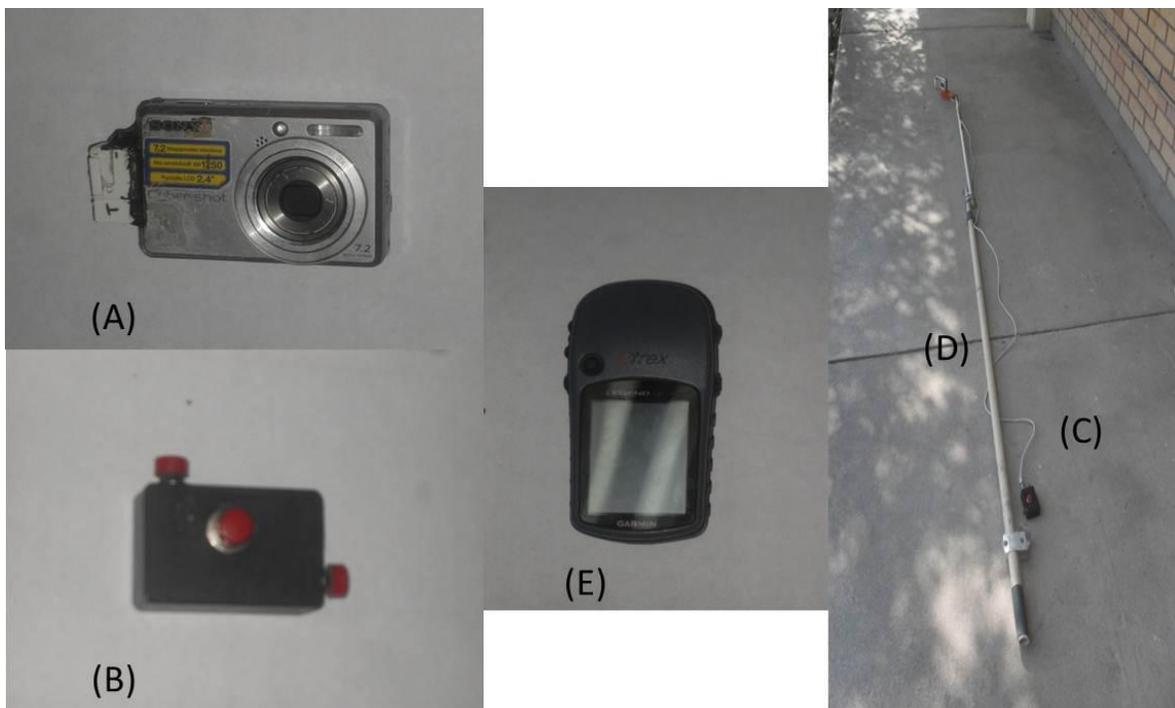


Figura 2.- Equipo para la toma de la fotografía digital A).- Cámara Sony, B).- Disparador, C).- Cable, D).- Bastón y E).- GPS.

Análisis de la Fotografía Digital

Para este apartado se izó un análisis detallado de cada una de las imágenes tomadas en el muestreo, utilizando el programa ENVI 4.3 se clasifico y se detalló cada imagen por separado, esto con el fin de determinar la cobertura de los elementos existentes en la imagen.



Figura 3.- Fotografía digital tomada a 4.2 m de altura con un área de estudio de 1 m².

A partir de la imagen de la Figura 3 una vez cargada en el programa ENVI, se procede a identificar los principales componentes de ella, una vez hecho lo anterior se procedido a hacer una clasificación manual a partir de la identificación de pixeles de los colores de los componentes para de esta manera asignarles un color que nos indique que componente es, y con el uso de la herramienta (maximum likelihood) Máxima Probabilidad, el programa

ENVI toma referencia a la regla de decisión basada en encontrar pixeles que pertenezcan a una misma clase en particular.

Estimaciones de campo

Para la toma de información en campo se diseñó una bitácora, la cual nos sirvió para anotar lo que se observó en campo. Dicha bitácora contiene la fecha, ubicación del sitio, coordenadas, y una descripción generalizada del sitio en estudio como tipo de vegetación, suelo desnudo, porcentaje de gramíneas, herbáceas y arbustivas. En la parte final de la bitácora se añoraban los porcentajes de cobertura y los pesos de las gramíneas ubicadas dentro del área de estudio.

Con el uso del método del doble muestreo se observó el peso de las gramíneas presentes en dicha parcela, y usando dos aros de 1 m² aproximadamente para determinar la cantidad de forraje disponible en esa área y solo cortar en solo algunos de los puntos de investigación dentro de la parcela y así poder realizar la correlación pertinente para saber qué tan buenas aproximaciones se tiene para determinar la cantidad de gramíneas existentes en los lugares de estudio y luego posteriormente compararlas con las predichas por el programa ENVI 4.3.

IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

SISTEMA DE SEGUIMIENTO

Precipitación Mensual

Se estimaron las precipitaciones mensuales de los años 2009 al 2013, y de este último año solo se tomaron hasta el mes de abril en una malla 20 x 20 km.

Para describir el comportamiento de las precipitaciones en el estado de Chihuahua, se tomaron los puntos 6924, 7030, 6017 y 5636 de la malla 20 x 20 km, los anteriores puntos de encuentran ubicados en los municipios de Ojinaga, Camargo, Ahumada y Guachochi respectivamente; con estos puntos se trata de representar las fluctuaciones de las precipitaciones para el estado de Chihuahua.

En la Figura 4 podemos observar que en Ojinaga los años 2009 y 2010 llovieron 243 y 213 mm respectivamente en su precipitación acumulada (PACU), ambos años tuvieron un comportamiento bajo, considerando que su media histórica es de 290 mm. En el año 2011 se presentó una precipitación con 103 mm que representa tan solo el 35.5% respecto a su promedio histórico. En el 2012 se reportó buenas condiciones climáticas que propiciaron un nivel alto en las precipitaciones las cuales fueron de 238 mm en su PACU los cuales representan el 17.5% respecto a su histórico, esto ayudaría a

mantener en buenas condiciones los pastizales de ese punto en el municipio de Ojinaga. Para inicios del 2013 en el mes de enero se registró una precipitación de 43 mm, esto representa tan solo el 14.8% de lluvias para inicios de este año, en el resto de los primeros meses ya no se presentaron precipitaciones de importancia.

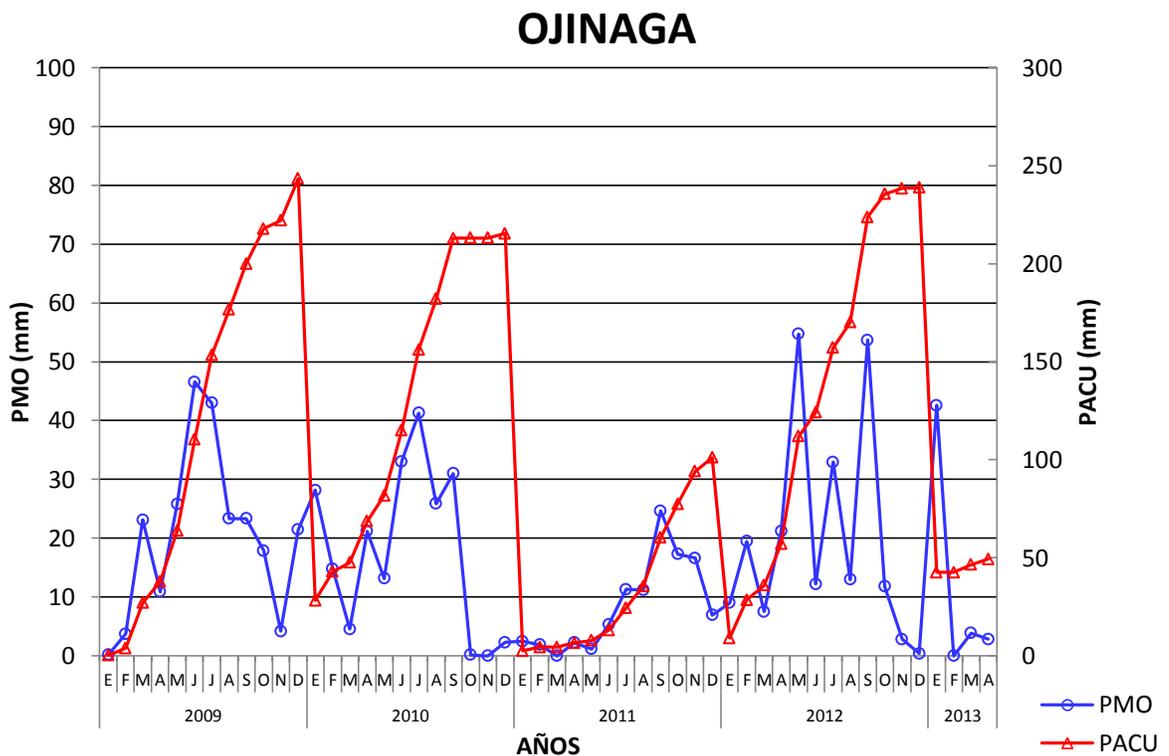


Figura 4.- Comportamiento de la precipitación mensual observada (PMO) y la precipitación acumulada (PACU) en el municipio de Ojinaga, Chih.

Para este sitio en el municipio de Camargo, en la Figura 5 podemos observar que los años 2009 y 2010 presentaron sus precipitaciones anuales de 224 y 236 mm considerando que su promedio histórico es de 370 mm, ambos años estuvieron al 60% y el 63% respecto de su histórico. En 2011 se presentó una sequía muy fuerte, la cual azotó gran parte de los pastizales del estado, para

este punto 7030 se registró únicamente 68 mm de la precipitación acumulada para el año, lo cual representa que está al 81% por debajo de su histórico, demostrando así que el año 2011 fue un año duro para los pastizales del estado de Chihuahua. En el año 2012 llovió 232 mm, lo cual indica que esta 37% por debajo de su promedio histórico que registro 370mm. Para el inicio del año 2013 se observa que inició con algunas lluvias de tan solo 32 mm pero aun no podemos decir si fue un año con mejoría respecto al comportamiento su precipitación.

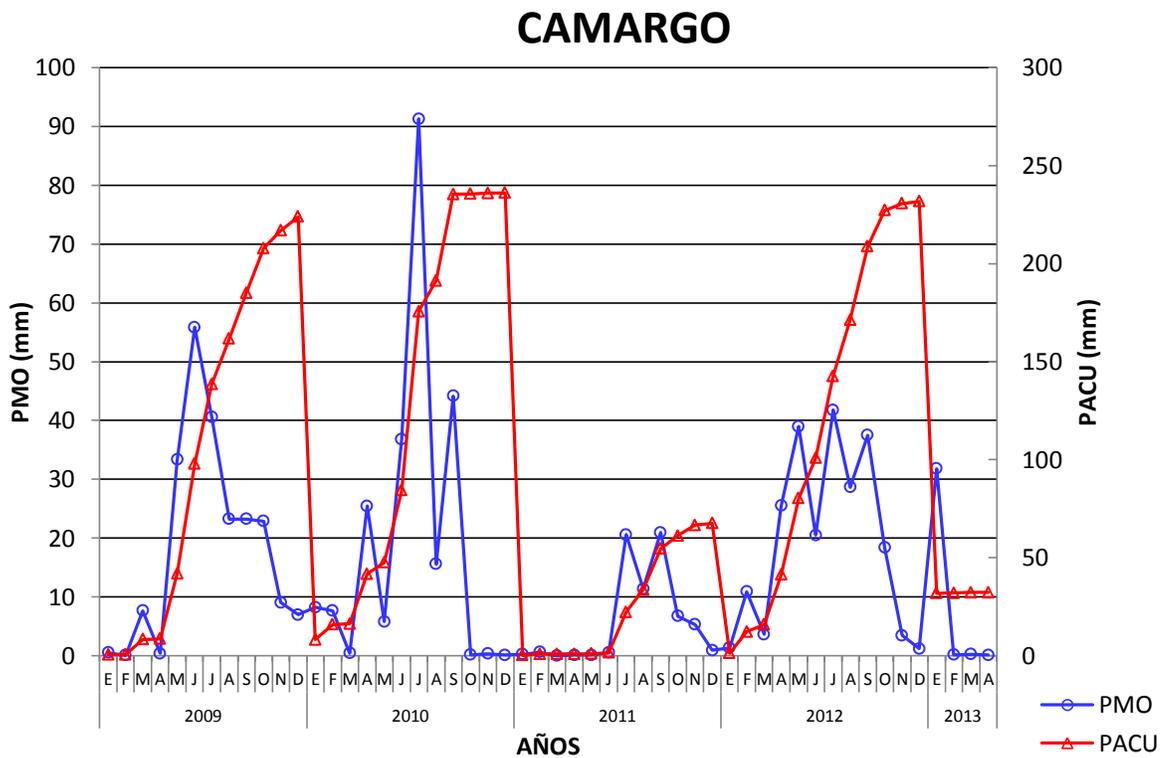


Figura 5.- Comportamiento de la precipitación mensual observada (PMO) y la precipitación acumulada (PACU) en el municipio de Camargo, Chih.

En la Figura 6 podemos observar la dinámica de las precipitaciones para el punto 6017 ubicado en el municipio de Ahumada, donde nos podemos percatar que los años 2009 y 2010 presentaron precipitaciones de 211 y 219 mm las

cuales están 12 y 15% por debajo de su promedio histórico de 251 mm. En el año 2011 como se ha venido observando en los puntos anteriores, para el caso de Ahumada se registró sólo 103 mm de precipitación lo cual indica que está por debajo de su histórico (58%), esto propició una decaída en la vitalidad de los pastizales del lugar. Para el año 2012 se presentaron precipitaciones algo tardías estas se notaron en los meses de agosto a octubre ya algo fuera de la época de crecimiento de los pastos, en este año solo se logró acumular 183 mm lo cual indica que aun de que se presentaron tarde las precipitaciones solo estuvieron el 27% respecto a su histórico los cuales propiciaron un bienestar algo tardío para los pastizales del lugar. Para inicios del 2013 las precipitaciones aun no eran notorias para este punto.

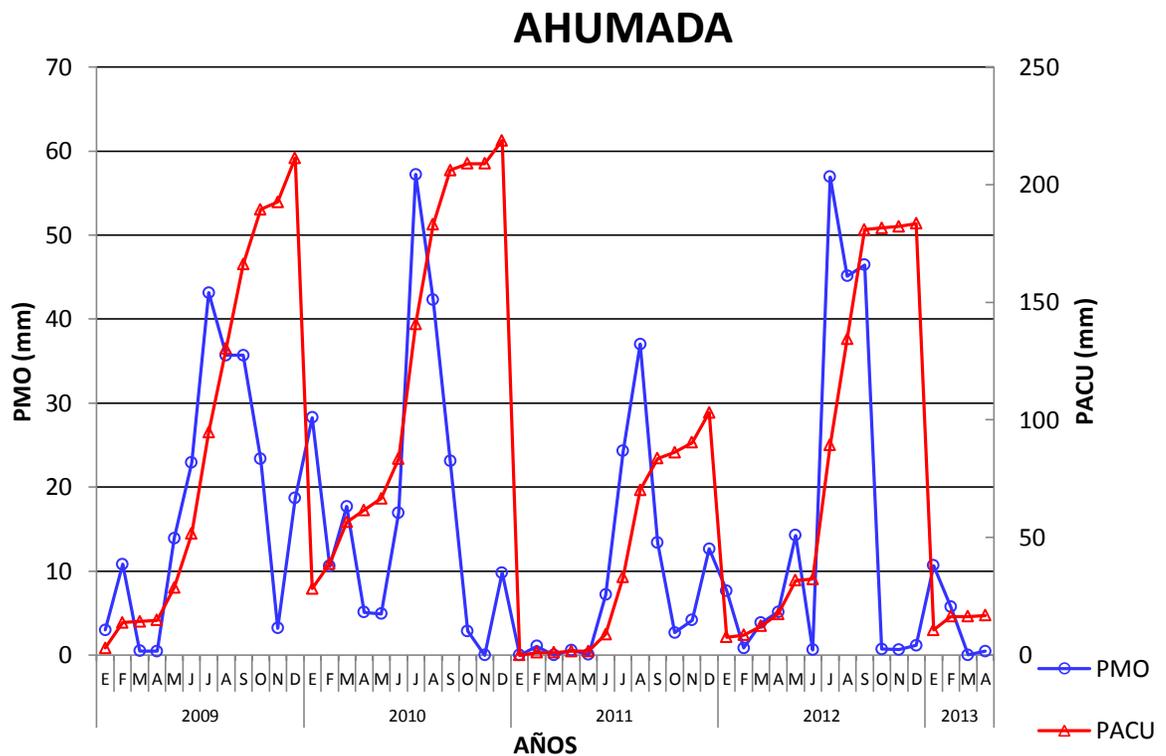


Figura 6.- Comportamiento de la precipitación mensual observada (PMO) y la precipitación acumulada (PACU) en el municipio de Ahumada, Chih.

En la Figura 7 se puede observar de las precipitaciones para el punto 5636 en Guachochi, se ve interesantes ya que para ese punto las precipitaciones que se registran son mayores en comparación a la de los municipios anteriores, como lo podemos ver para los años 2009 y 2010 se registran 633 mm esto representa 18.8% por debajo de histórico y 778 mm esto indica que para el año 2010 tan solo estuvo 0.2% por debajo su promedio histórico en cual tiene como registro 780 mm para ese punto, cabe señalar que el año que registro más lluvias fue el 2010 con 778 mm esto debido la presencia del huracán "Alex" pero aun así este punto no estuvo excluido de la sequía que se presentó en el 2011, para este sitio tubo una baja en la cantidad de precipitación acumulada lográndose únicamente registrar 447 mm estos indican que están 42.6% por debajo de su histórico. Para el año 2012 registró una mejoría bastante significativa la cual podemos observar que se acumularon 652 mm, lo que significa que estuvo 16.4% por debajo de su promedio histórico esto gracias a las lluvias que se presentaron en los meses de agosto a octubre algo fuera de tiempo pero lograron que el año terminara con una buena cantidad de milímetros llovidos. Para los inicios del 2013 aún no se reportaron precipitaciones significativas para ese punto.

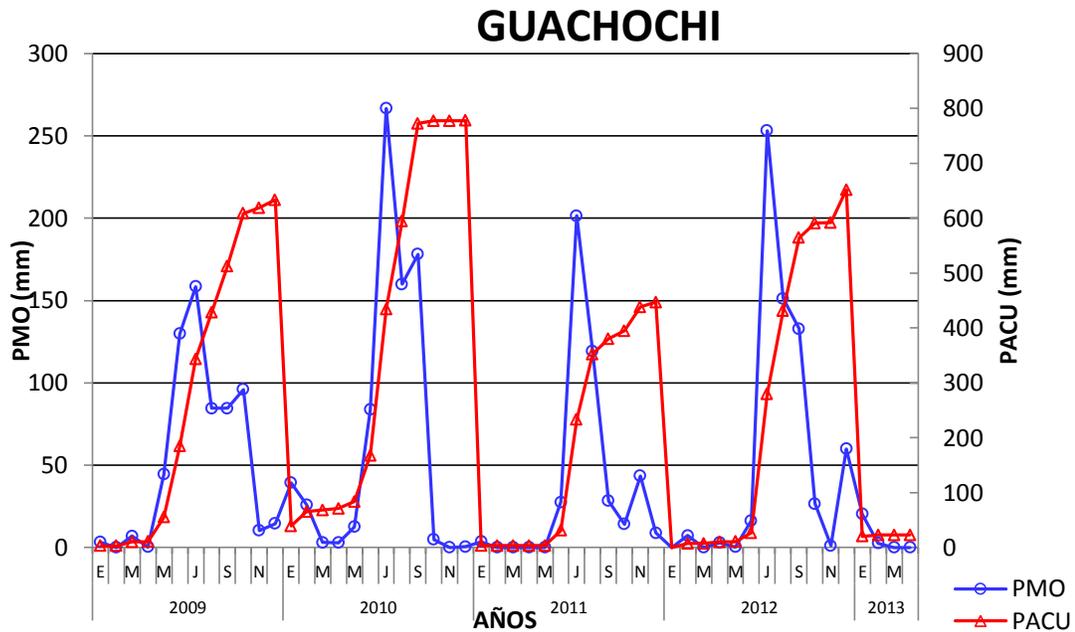


Figura 7.- Comportamiento de la precipitación mensual observada (PMO) y la precipitación acumulada (PACU) en el municipio de Guachochi, Chih.

Ahora, en la Figura 8 se presentan cuatro mapas correspondientes a la proporción de la precipitación anual (P_{PA} ; Observada/Esperada) para los años 2009 al 2012. Se puede apreciar en la Figura 8 para el año 2009 es que algunos de los municipios del centro-sur del estado, Madera, Casa Grandes y Coyame presentaron valores P_{PA} por debajo de 1, los municipios que registraron valores mayores a 1 fueron en la parte norte: Janos, Ascensión, Buenaventura, en el centro: Aldama, Julimes, al este de Jiménez, en el área serrana: Uruachi, Moris, y Chinipas, el resto de los municipios del estado se comportaron en una forma normal. Para el año 2010 la superficie que registra valores muy bajos respecto a lo normal 1, son únicamente los municipios del área desértica del estado como lo son: Coyame y partes de Ahumada y Aldama, y áreas muy pequeñas en los municipios de Camargo, Valle de Zaragoza, Namiquipa y Casa Grandes. El resto del estado presento valores cercanos a lo normal, lo que nos permite deducir que el año 2010 no se vio muy afectado por la falta de precipitaciones. En el año 2011 se registró una sequía prolongada la cual afecto a todo el este del estado a tal grado que los

agostaderos del área se quedaron severamente afectados debido a la falta de las lluvias, únicamente en la área serrana se presentaron valores por encima de lo normal ¹ esto se registró únicamente en los municipios de Janos en el norte y Moris, Uruachi, Chinipas y Guazapares en el área serrana, este fue un año devastador para la gran mayoría de los ganaderos del área del lado este del estado ya que es aquí donde se pastorea gran cantidad de cabezas de ganado las cuales se vieron afectadas por la falta de lluvias y mucho del ganado perdió la vida. El año que 2012 ya no fue tan devastador como el año anterior, ya que en este si se lograron presentar precipitaciones significativas las cuales sacaron adelante gran parte de las áreas ganaderas del estado y minimizando la área afectadas del norte en los municipios de Ascensión y parte de Ahumada, Juárez y Casas Grandes en las cuales las precipitaciones no ayudaron a la mejoría de estos lugares debido a que sus valores de precipitación estuvieron por debajo de lo normal ¹.

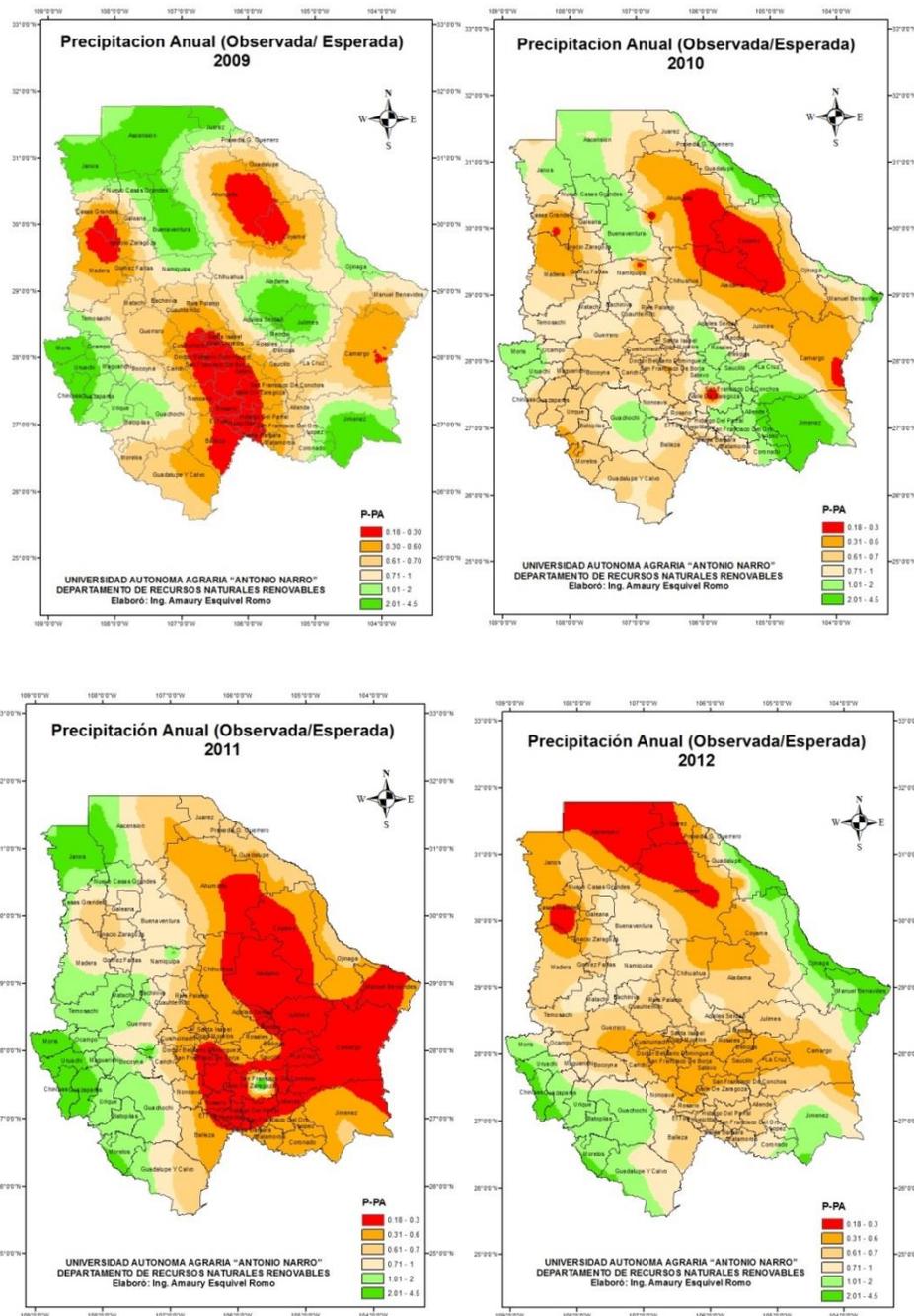


Figura 8.- Mapas correspondientes a la Precipitación Anual (Observado/Esperado) de los años 2009 al 2012.

NDVI Mensual

Para describir NDVI Mensual se continua trabajando con los puntos 6924, 7030, 6017 y 5636 los cuales están situados en los municipios de Ojinaga, Camargo, Ahumada y Guachochi respectivamente estos puntos fueron tomados de la malla 20 X 20 km. Los puntos están distribuidos para presentar los diferentes ecosistemas del estado.

Para el inicio del año 2009 podemos observar en el municipio de Ojinaga Figura 9 que el NDVI tuvo su valor inicial de 0.17 un valor bajo, para el mes de junio subió a 0.20 pero aún por debajo de lo normal. En el mes de septiembre incremento su valor a 0.25 por la presencia de las lluvias. En el año 2010 inicio con un valor muy bajo, el cual fue de tan solo 0.16, pero como este fue un año llovedor, y logro un NDVI de 0.30 en el mes de Julio; esto debido a la presencia del huracán "Alex". En el año 2011 fue un año de sequía prolongada y parte del 2012, registrando valores de NDVI muy bajos todos ellos oscilando 0.13 a 0.19, esto nos indica que la vegetación estuvo buen tiempo con estrés hídrico, fue hasta finales del 2012 cuando se lograron precipitar algunas lluvias tardías, las que hicieron que el valor del NDVI subiera hasta 0.19 como valor máximo para este año. Para los inicios del año 2013 aún no se registraban precipitaciones de importancia que originaran algún cambio significativo en el NDVI.

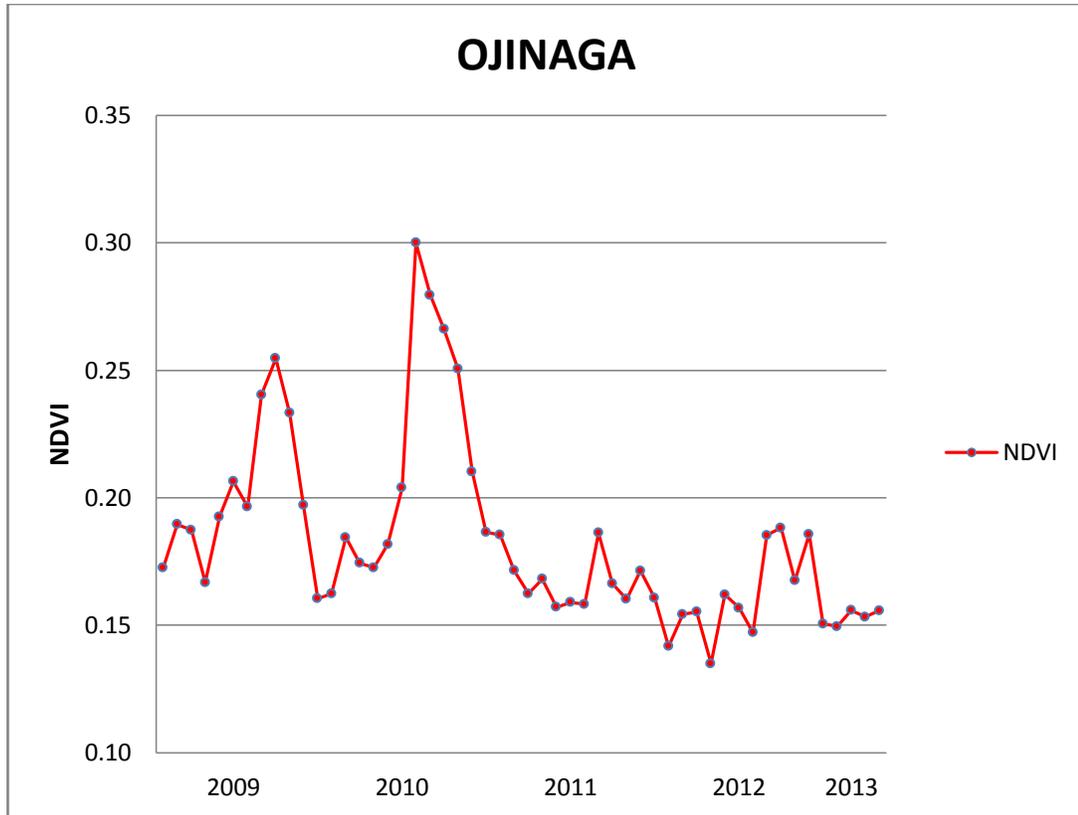


Figura 9.- Comportamiento del NDVI mensual de los años 2009 a abril 2013 para el municipio de Ojinaga.

En el municipio de Camargo Figura 10 podemos apreciar que para el año 2009 su valor de NDVI oscilo entre 0.13 a 0.19 lo cual nos permite deducir que fue un lugar en el cual no registro lluvias significantes. Para el año 2010 inicio con valores de NDVI bajos de 0.14 para los primeros meses del año y a partir de del mes de Julio registro una alza en su NDVI llegando a 0.35 el cual fue originado por efectos del huracán “Alex”. Lo que fue en el año 2011 este presento sus valores de NDVI de 0.15 a 0.17 lo cual nos indica que la vegetación no fue capaz de re enverdecer lo largo del año debido a la falta de precipitaciones oportunas. Para el año 2012 continuo teniendo NDVI muy bajos los cuales fueron de 0.13 a 0.15 lo cual nos indica que hay poca vegetación y/o

suelo desnudo. Para los inicios del 2013 el NDVI continúa comportándose con valores bajos, debido a la falta de las precipitaciones.

En general para este sitio 7030 que está situado en el municipio de Camargo, presento valores generales de NDVI muy bajos debido a que en ese lugar es árido, con poca vegetación y quizás al mal manejo de los recursos naturales, esos factores no ayudan a que su NDVI aumente.

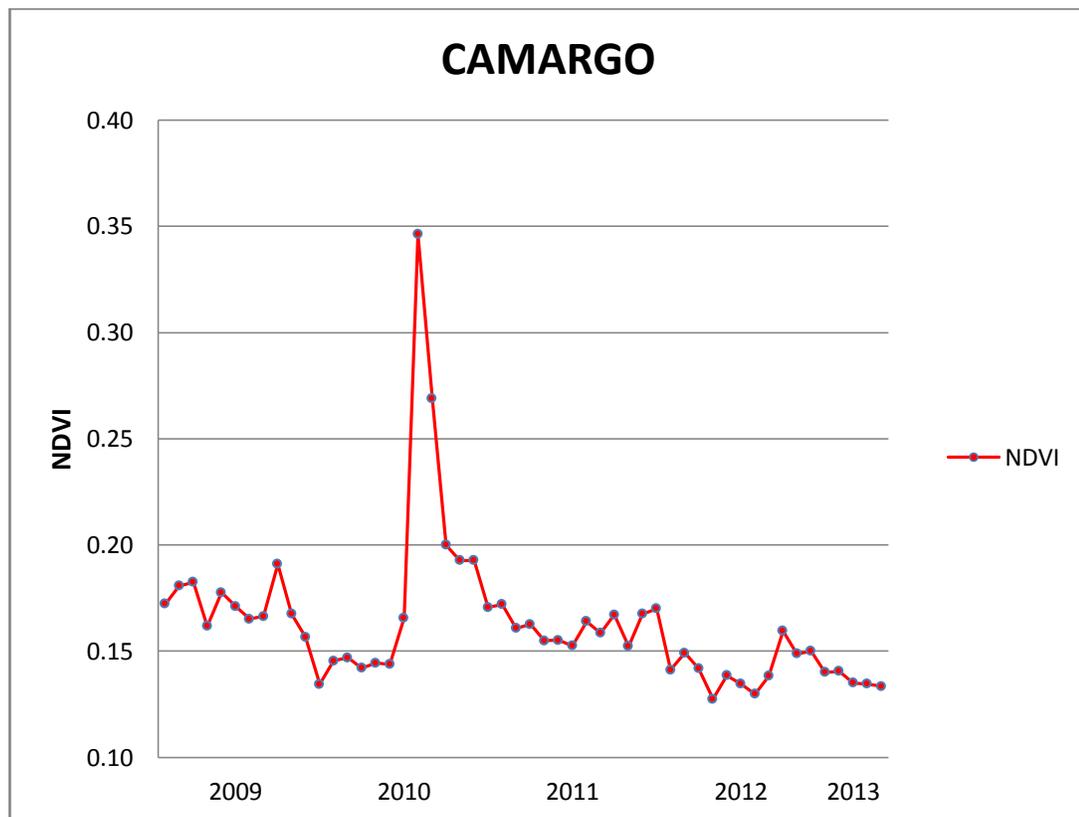


Figura 10.- Comportamiento del NDVI mensual de los años 2009 a abril 2013 para el municipio de Camargo.

En la Figura 11 en el municipio de Ahumada podemos ver como los valores de NDVI se presentan en un rango más elevado, para el año 2009 podemos observar que inicia el año con un NDVI de 0.23 y termina el año con un valor

de 0.65, esto nos ayuda a saber que la en este sitio se encuentra un poco más provisto de vegetación en comparación con el sitio anterior de Camargo. Para el año 2010 podemos observar como sus valores de NDVI al inicio del año son bajos de 0.19 pero en los meses de Julio y Agosto son los que tiene un valor de NDVI más relevante el cual es de 0.59 y 0.63 respectivamente, esto nos puede ayudar a saber que la vegetación tiene una respuesta positiva en los meses en los cuales se presenta lluvia. En el año 2011 se puede observar que sus valores iniciales en el año de NDVI son bajos 0.20 esto se puede deber a la falta de las lluvias en ese año, a pesar de que fue un año en el cual no se registraron lluvias significantes para el estado, se puede apreciar que en el mes de agosto su NDVI se elevó a 0.63, esto se debe al simple reverdecimiento de los matorrales. En el año 2012 el NDVI se comportó algo fuera a des tiempo con algunas lluvias tardías el NDVI tuvo su valor más elevado en los meses de Agosto, septiembre y octubre, registrando 0.56, 0.43 y 0.37 respectivamente. El año 2013 inicia con valores muy bajos de su NDVI debido a que no se han presentado precipitaciones para esas fechas. En este punto 6017 que se encuentra en el municipio de Ahumada podemos ver con más claridad el comportamiento el comportamiento del NDVI como disminuye en los meses secos y como aumenta en los meses cálidos y en los cuales de presentan las precipitaciones con más frecuencia, quizás aquí se comporte de esta manera debido a que en este lugar ya inicia la zona de transición de la vegetación en la cual ya podemos encontrar pino-encino y también con algunos matorrales, además de los zacates.

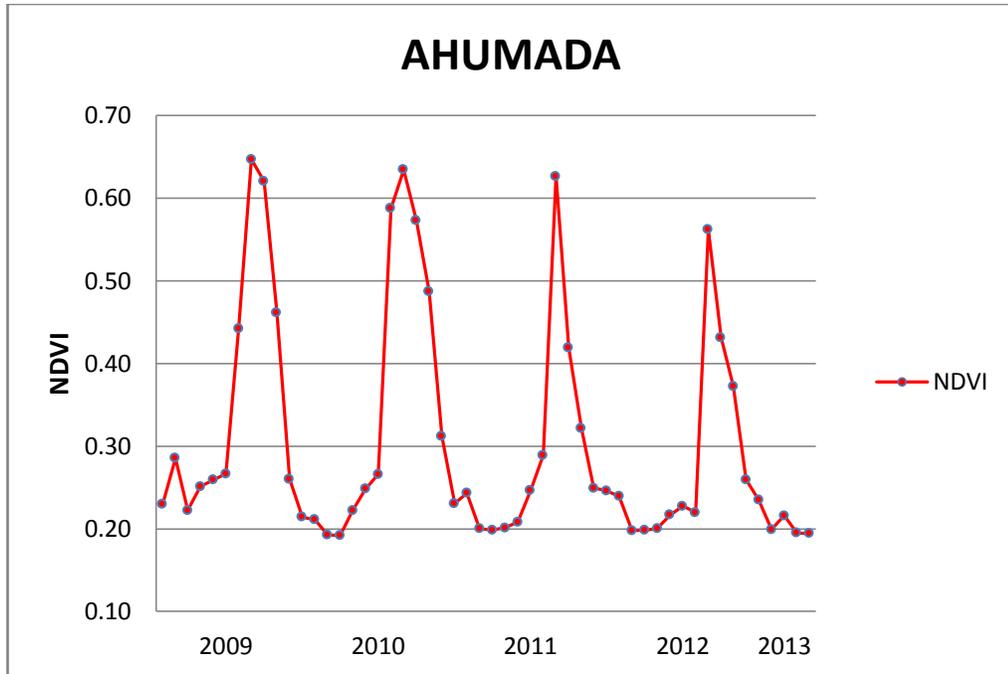


Figura 11.- Comportamiento del NDVI mensual de los años 2009 a abril 2013 para el municipio de Ahumada.

En municipio de Guachochi en la Figura 12 podemos apreciar como el comportamiento del NDVI a lo largo de los años en estudio se comportó con valores muy bajos, estos oscilando de 0.12 como valor mínimo y como valor máximo 0.25, esto nos indica como varían las precipitaciones en algunos de los puntos que corresponden al estado de Chihuahua.

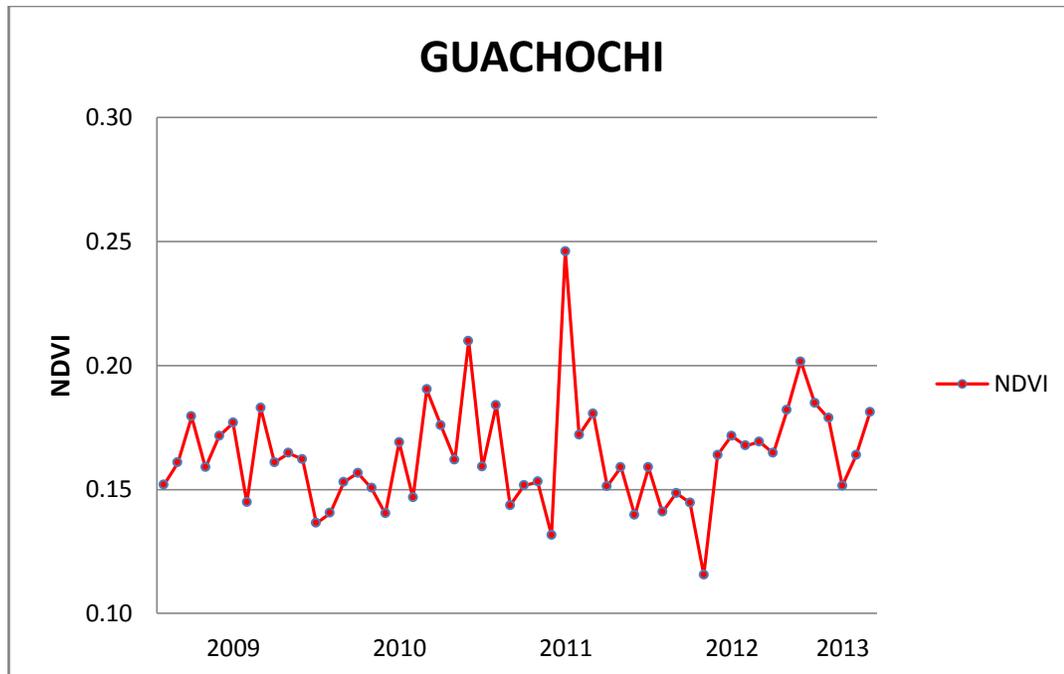


Figura 12.- Comportamiento del NDVI mensual de los años 2009 a abril 2013 para el municipio de Guachochi.

NDVI Estatal

Para poder observar el comportamiento del NDVI Estatal se usaron cuatro mapas los cuales representan las cuatro estaciones del año; primavera (abril), verano (julio), otoño (octubre), invierno (diciembre).

En la Figura 13 podemos ver el comportamiento del NDVI para el año 2009 en el cual podemos observar como en el mes de Marzo el área blanca esta considerablemente grande sobre todo el norte del estado, esto se debe a que en este mes aun no iniciaba el crecimiento de la vegetación. En el mes de Julio podemos ver como el área en blanco ha reducido un poco y el área de la sierra inicia con su verdor de verano, pero en el mes de octubre podemos observar como el área en blanco se ha reducido considerablemente y el área de la sierra está en su verdor en su valor más alto. En el año 2010 en el mapa de Abril

podemos ver como gran parte del estado esta de color blanco esto debido a la vegetación que se ve afectada por la ausencia de precipitaciones, pero podemos ver como las áreas afectadas en los meses de Julio y Octubre se van reduciendo, esto debido a la presencia de las precipitaciones del huracán “Alex” terminado el año en el mes de Diciembre ya si áreas afectadas o en color blanco, en este mes el estado mostro una mejoría importante para los pastizales del estado.

*Los colores claros representan a pastizales y a matorrales caducifolios, y en cuanto a los colores más oscuros representan a la vegetación sana y vigorosa.

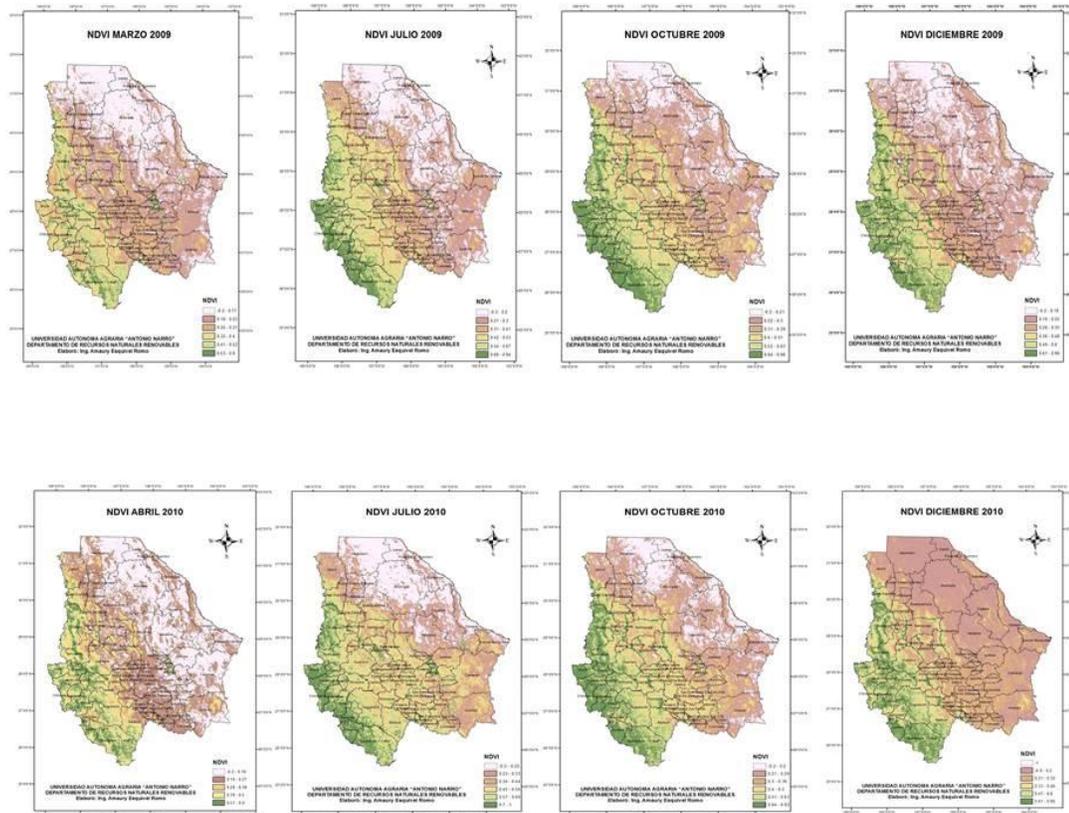


Figura 13.- Mapas correspondientes al NDVI para los meses de abril, julio, octubre y diciembre de los años 2009 y 2010.

En la Figura 14 se observa como en de Abril de 2011 el año inicia con un buen NDVI el cual no muestra valores bajos que indiquen vegetación atrofiada o seca. Pero es de llamar la atención de como en el mes de Julio el área de color blanco crece demasiado y nuevamente en el mes de Octubre vuelve a recuperarse y elevarse un poco su NDVI, pero esto se debe a que en el estado si se registraron precipitaciones las cuales provocaron que la vegetación retomara algo de su vigorosidad. En el mes de Diciembre, debido a las bajas precipitaciones y a las heladas tempranas la vegetación decayó de nuevo y se incrementaron las áreas afectadas en todo el norte y noreste del estado, son estas áreas las más afectadas debido a la condición de su vegetación, a las mayores áreas desprovistas de vegetación y al tipo de plantas que están en esta área desértica. Para el año 2012 podemos apreciar que para las cuatro estaciones del año presentan áreas extensas con un rango bajo el cual corresponde a los lugares en blanco, mostrando una ligera mejoría en la época de otoño reduciendo un poco las áreas blancas y situándose en el área desértica en el norte del estado.

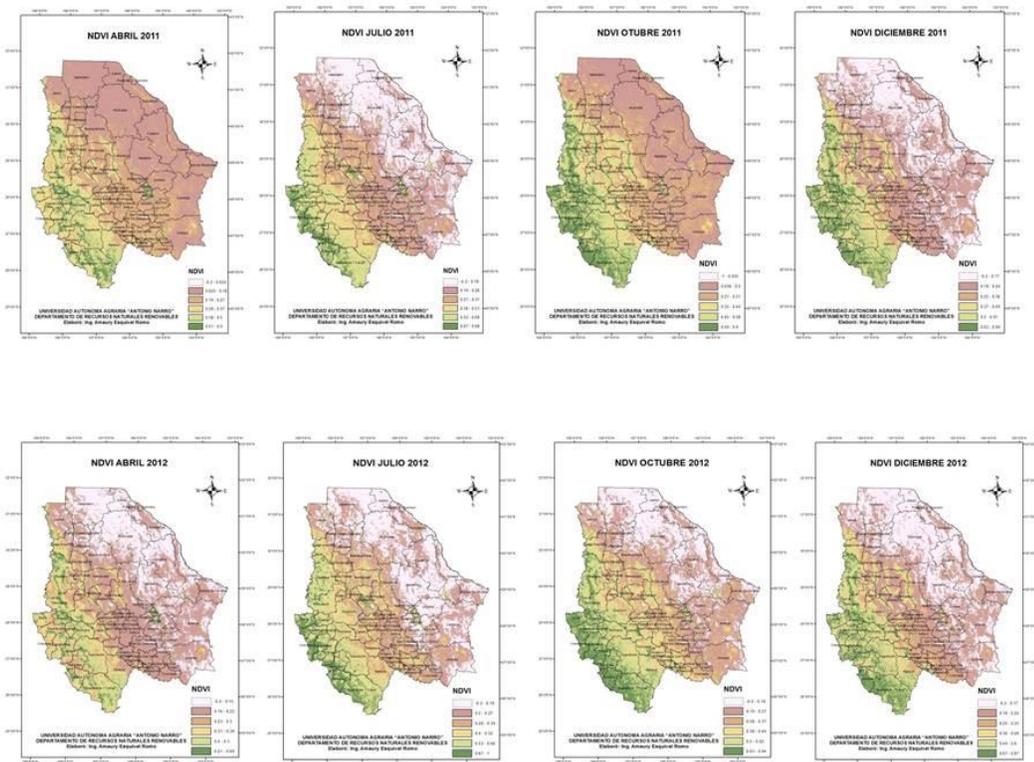


Figura 14.-Mapas correspondientes al NDVI para los meses de Abril, Julio, Octubre y Diciembre de los años 2011 y 2012.

PNDVI Mensual

Este parámetro (PNDVI) es la “proporción del índice de vegetación la diferencia normalizada” este factor es obtenido por medio de una proporción entre en NDVI-actual entre el NDVI-promedio histórico, para ver el comportamiento de este índice tomaremos los puntos; 6924, 7030, 6017 y 5636 ubicados en los municipios de Ojinaga, Camargo, Ahumada y Guachochi respectivamente estos fueron tomados de una malla de 20 x 20 km.

El comportamiento del P-NDVI para el municipio de Ojinaga, Chihuahua se puede apreciar en la Figura 15. Para el año 2009 en todos los meses se presentaron valores de P-NDVI ligeramente por encima de su histórico, su valor más bajo se registró en los meses de enero y diciembre con valores 1.09 y 1.03 respectivamente, su valor más alto se registró en el mes de agosto con un valor de P-NDVI de 1.25. En el año 2010 se presentaron valores un poco más altos respecto a su normal el valor más bajo se presentó en el mes de octubre con valor de 0.88 y el pico del valor P-NDVI más alto se presentó en el mes de julio con un valor de 1.60, esto se debe a la presencia de los efectos del huracán "Alex". En el año 2011 también presentó valores de P-NDVI un poco por encima de su normal, registrándose su valor de P-NDVI más alto en el mes de enero con 1.15, esto se puede deber a que en el final del año 2010 terminó con vegetación vigorosa la cual pudo responder bien al inicio del año 2011, el valor más bajo se registró en el mes de octubre con un valor de P-NDVI de 0.75, esto quizás se deba a la falta de precipitaciones oportunas. Para el año 2012 sus valores de P-NDVI estuvieron muy cercanos a lo normal, en este año se presentaron algunas lluvias escasas y fuera de tiempo, las cuales no fueron suficientes para que la vegetación retomara su verdor, y en el inicio del año 2013 con la falta de precipitaciones sus valores de P-NDVI oscilaron muy cercanos a lo normal.

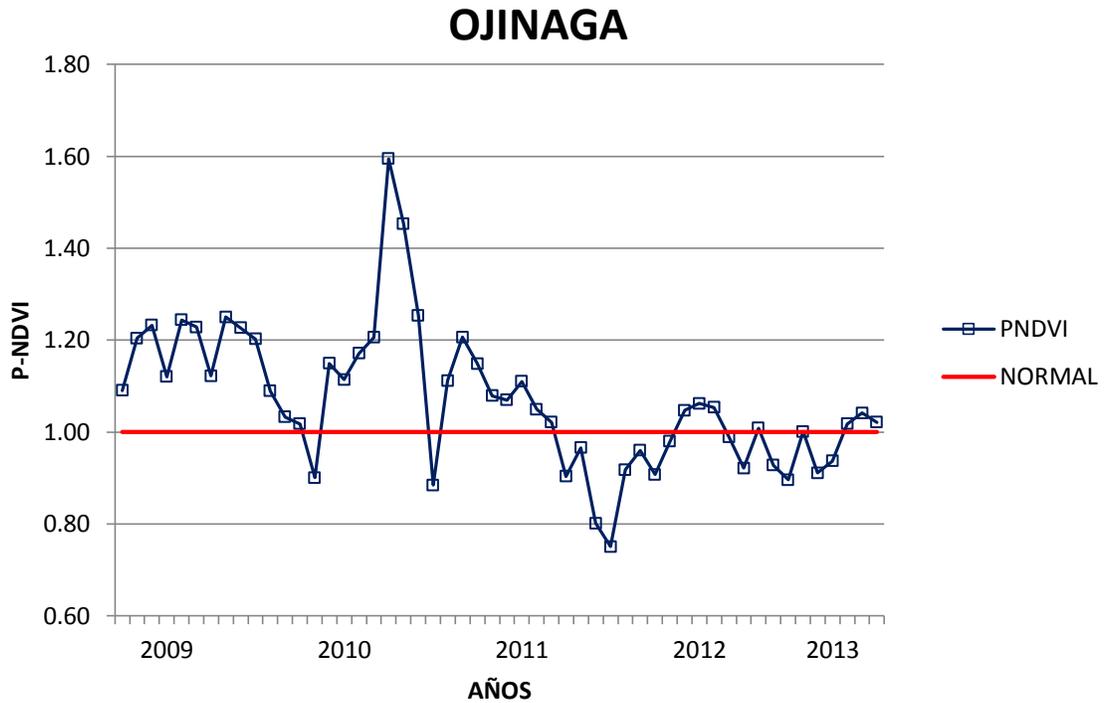


Figura 15.- Comportamiento del P-NDVI mensual de los años 2009 al 2013 en el municipio de Ojinaga Chih.

En la Figura 16 el punto ubicado en el municipio de Camargo en el año 2009 su valores de inicio de año fueron elevados por encima de lo normal, los meses de enero a junio presentaron sus valores entre 1.11 y 1.27, el resto del año término por debajo de lo normal, esto debido a la falta de precipitaciones en todo este año. En el inicio del 2010 sus valores de P-NDVI también se ubicaban muy cercanos a lo normal, pero en el mes de julio fue cuando se elevó su valor de P-NDVI alcanzando un valor máximo en este año de 1.95 esto significa que estuvo casi al doble de lo normal, y al final del año su valor fue decayendo en forma progresiva. En el año 2011 al inicio de este sus valores de P-NDVI fueron muy cercanos a lo normal, lo cual nos indica que al inicio del año no se han presentado lluvias importantes que logren incrementar su valor de P-NDVI, y a final de este año aun con la falta de precipitaciones los

valores de P-NDVI decayeron ya por debajo de lo normal, esto originando grandes pérdidas a los ganaderos y productores de esa área. Para inicios del año 2013 con la falta de precipitaciones esto origino que los valores de P-NDVI no sobrepasaran el umbral de lo normal, esto nos indica que en esta región la vegetación esta algo dañada por la falta de precipitaciones.

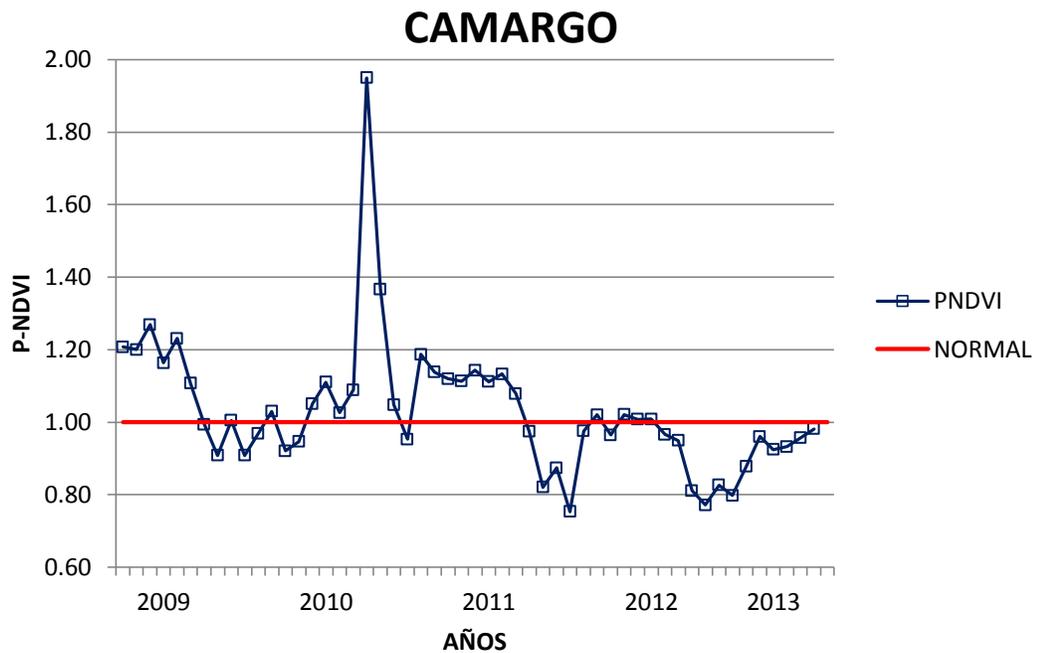


Figura 16.- Comportamiento del P-NDVI mensual de los años 2009 al 2013 en el municipio de Camargo, Chih.

En el comportamiento que apreciamos en la Figura 17 vemos la fluctuación del P-NDVI en el año 2009, podemos observar que el punto más alto con valor de 1.29 de P-NDVI fue en el mes de octubre y el valor más bajo se registró enseguida en el mes de noviembre con un valor de 1.02, sin embargo en este año todos los valores del año se encontraron por encima de su normal, estos son valores bajos pero hicieron la diferencia para que el P-NDVI no se

mostrara por debajo de se lo normal. Para el año 2010 en el mes de febrero fue cuando se registró un valor bajo, 10% más bajo a lo normal este valor fue de 0.9, pero a partir de febrero el valor de P-NDVI se comportó en una forma ascendente hasta llegar a su punto más alto en el mes de julio en el cual se registró su valor de 1.45 este valor representa 45% por encima de su normal, quizás se vio algo afectado por la presencia de los estragos del huracán “Alex”, después de este mes los valores de P-NDVI se comportaron en una forma descendente hasta llegar al mes de diciembre con un valor de 1.05, este último valor de diciembre tan solo estuvo 0.05% por encima de lo normal. En el comportamiento del año 2011 el punto más bajo se presentó en el mes de julio con un valor de P-NDVI de 0.68 este valor se presentó 32% por debajo de su normal, esto se debió a la falta de precipitaciones al inicio del año, pero el punto más alto se presentó de inmediato en el mes de agosto con un valor 1.17 tan solo un poco por encima de lo normal, pero que al igual no significa que el lugar este en buenas condiciones. En los años 2012 y 2013 los valores de P-NDVI se presentaron muy cercanos a lo normal todos oscilaron entre 0.94 como valor bajo en el mes de junio del 2012 y como valor más alto 1.16 en el mes de Febrero del 2013 estos valores son muy bajos, los cuales no indican que la vegetación esta algo afectada por falta de precipitaciones.

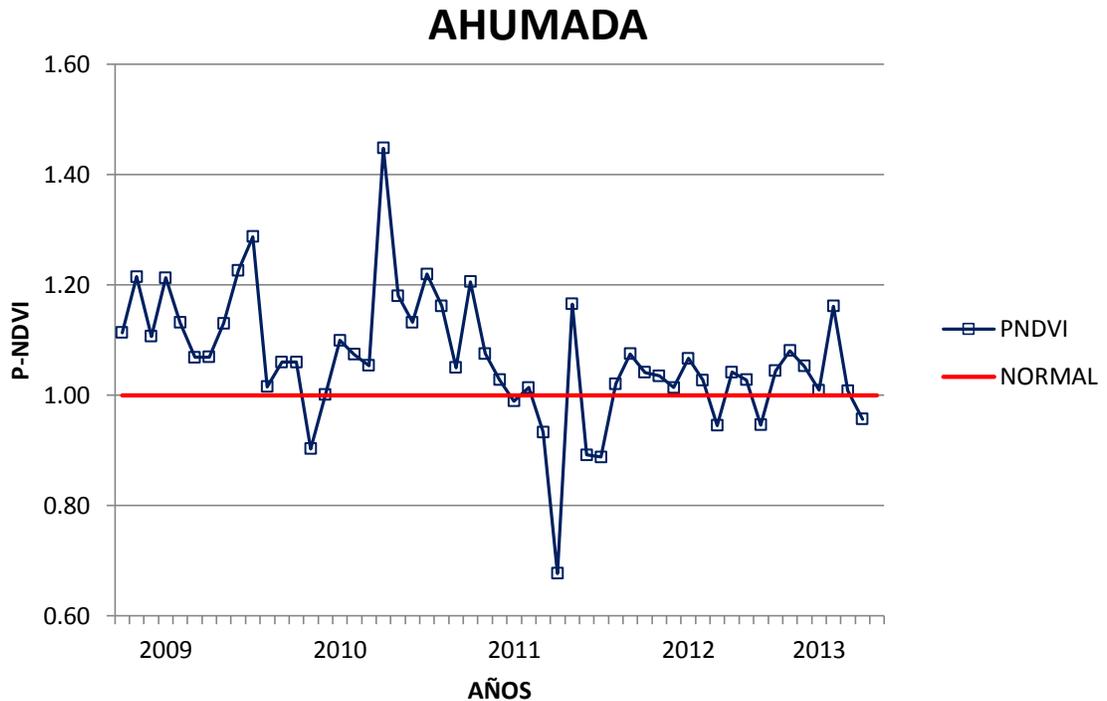


Figura 17.- Comportamiento del P-NDVI mensual de los años 2009 al 2013 en el municipio de Ahumada, Chih.

En la Figura 18 podemos ver el comportamiento del P-NDVI en el año 2009 en el municipio de Guachochi se presenta con valores un poco por encima de lo normal, presentando como valor máximo en el mes de marzo con un valor de P-NDVI de 1.18 casi el 20% por encima de su normal y como valor mínimo se presentó en el mes de septiembre con 0.84 que es igual a 16% por debajo de lo normal. En el año 2010 al inicio de este año también se registraron valores de P-NDVI muy cercanos a lo normal, el valor más alto de P-NDVI en este año se presentó en el mes de noviembre con un valor de 1.51, esto fue el 50% por encima de lo normal, este caso se lo podemos relacionar a los efectos de los remanentes del huracán “Alex”. Para el año 2011 podemos comentar que en los municipios anteriores no mostraron presencia de precipitaciones las cuales originaran un alza en los valores de P-NDVI, pero en este año 2011 en este municipio podemos ver que en el mes de junio se presentó un valor alto de

1.69, que lo podemos ver como 70% por encima de lo normal, esto se debió a la vegetación que se encuentra en este punto y además a la presencia de alguna lluvia que se haya presentado en ese lugar. En el año 2012 el valor más bajo de P-NDVI se presentó en el mes de enero con 0.91 de P-NDVI esto indica que estuvo 10% por debajo de su normal, y el valor más alto se presentó en el mes de noviembre con 1.30 de P-NDVI lo cual es el 30% por encima de lo normal para ese punto, en este año en general no se presentaron precipitaciones importantes, solo fue al final del año cuando se registraron algunas lluvias fuera de tiempo las cuales quizás hicieron que en el mes de noviembre aumentara al 30% por encima de su normal. En los inicios del año 2013 todos sus valores estuvieron por encima de su normal pero tan solo 1.28 como valor máximo para ese año.

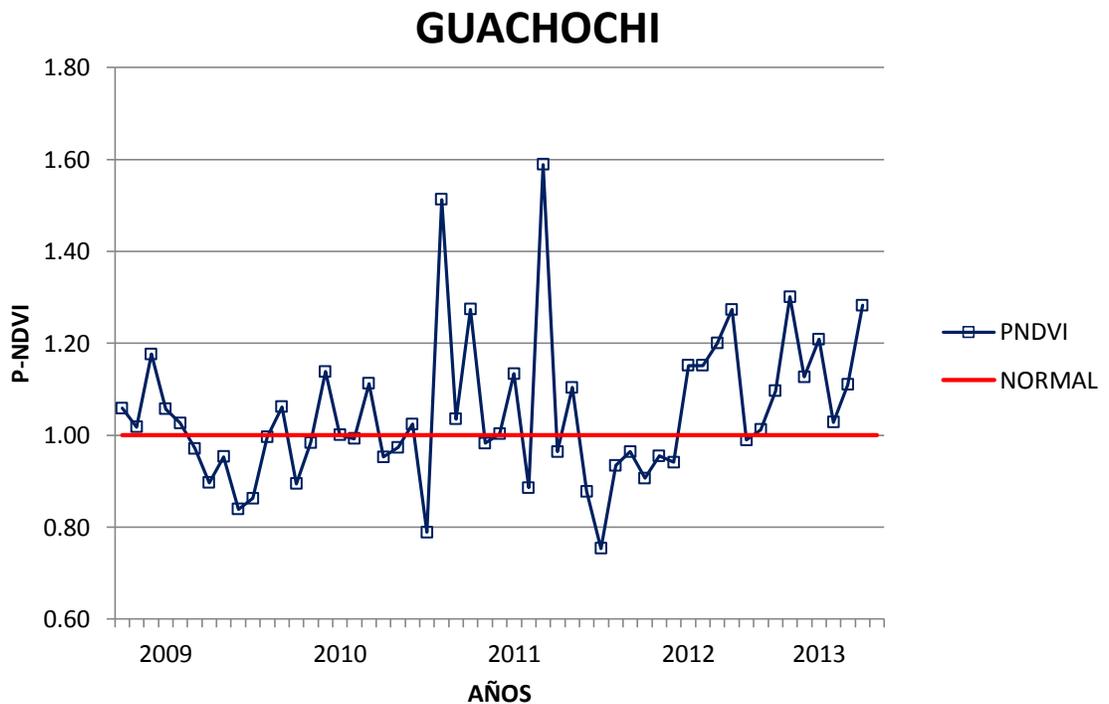


Figura 18.-Comportamiento del P-NDVI mensual de los años 2009 al 2013 en el municipio de Guachochi, Chih.

PNDVI Estatal

En la Figura 19 podemos ver el comportamiento del P-NDVI a nivel estatal, en el año 2009 para el mes de Abril podemos ver que gran parte del estado está en un rango muy bajo respecto a su histórico, es por ello que gran parte del estado se encuentra en color rojo, para el mes de Julio podemos observar que la área en rojo se ha reducido considerablemente e iniciaron a parecer algunas pequeñas partes en verde las cuales se encuentran en algunas partes de los municipios del norte como: Ascensión, Janos, Casa Grandes, Ahumada, Buenaventura y Namiquipa, esto indica que estuvieron 40% por encima de su normal. Para el mes de octubre podemos ver como el estado mejora un poco más y en forma gradual se fue disipando las áreas rojas o afectadas y ahora iniciaron a aparecer las áreas verdes pero ahora en el sureste del estado en los municipios de: Jiménez, Camargo, Allende, Parral y Julimes, esto nos puede ayudar a entender que la vegetación respondió un poco a lagunas precipitaciones muy ligeras que se hayan presentado, y en el mes de diciembre con la presencia del invierno nuevamente las áreas en rojo vuelven a retomar gran parte del territorio del estado, esto debido a la ausencia de lluvias significativas y al sobre pastoreo y mal uso de los recursos naturales del estado. Para el año 2010 en el mes de abril con algunas lluvias tempranas que se presentaron en el estado se puede observar que las áreas en rojo se minimizaron y de inmediato las áreas en color verde regresan apareciendo en la área del norte estas áreas en verde nos indican que su P-NDVI están por encima de su normal en buena proporción, para el mes de julio con la presencia del huracán “Alex”, gran parte del este del estado mejoro mucho en su P-NDVI dicha mejora se puede observar en los municipios de: Coronado, Jiménez, Allende, San Francisco de Conchos, La Cruz, Saucillo, Delicias, Rosales, Camargo, Meoqui, Aquiles Serdán, Julimes y parte de Ojinaga, todos

los anteriores estuvieron 50% por encima de su promedio, esto debido a las lluvias que propicio el huracán “Alex”. Para el mes de octubre aun las áreas en rojo o por debajo de lo normal continúan en una parte del estado, pero al igual las áreas en el centro del estado continúan presentando valores por encima de lo normal, lo cual origina los colores verdes del buen estado de esos lugares y al finalizar el año en el mes de diciembre también continua con la presencia de algunos municipios en color verde en el norte Janos, Casa Grandes y Ascensión y en el este del estado Coronado, Allende, Conchos, la Cruz, Saucillo, Julimes y parte de Camargo en estos lugares se presentaron sus P-NDVI aun 50 % por encima de su promedio es por ello el color verde de esos lugares.

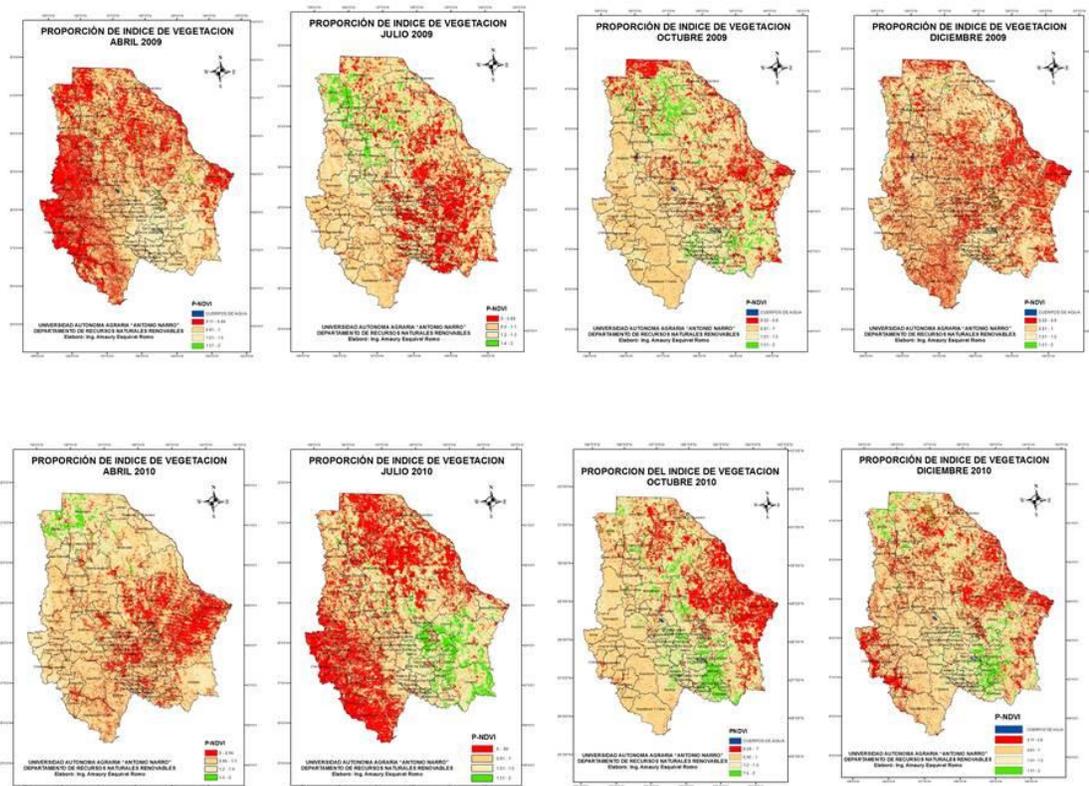


Figura 19.- Mapas correspondientes al comportamiento del P-NDVI en los meses de Abril, Julio, Septiembre, Octubre y Diciembre de los años 2009 y 2010.

Para la Figura 20 en el año 2011 en el mes de abril podemos observar como en el este del estado donde lo afecto un poco más los remanentes del huracán “Alex” demuestra tener aun la capacidad de presentar algunos lugares con color verde los cuales los podemos ver en partes de los municipios de: López, Jiménez, Allende, Conchos, Saucillo, la Cruz, y parte de Camargo, el resto del estado esta presenta una mayor proporción de los lugares que están en su estado normal y una proporción regular continua situada en la parte de la sierra oeste y de la frontera con los EUA. Para Julio de este mismo año las áreas en rojo se corrieron para el centro del estado debido a la falta de lluvias y las áreas serrana y la parte de la frontera con EUA. Se encuentran en un estado muy próximo a lo normal. En el mes de Octubre se han reducido más las áreas en color rojo estas se localizan ahora en la parte este del estado, pero la gran parte del estado presenta valores muy cercanos a lo normal histórico, no se aprecian lugares en verde debido a la falta de precipitaciones. En el mes de Diciembre con la llegada del invierno las áreas en rojo aumentan considerablemente en todo el estado, presentándose con más frecuencia en el área de la frontera con EUA. Para Abril del 2012 todo el estado presenta sus valores de PNDVI en su estado normal, para el mes de julio las áreas en rojo se mostraron en gran parte del centro-este del estado, esto debido a la falta de lluvias, para el mes Octubre ya con algunas lluvias mínimas registradas para el estado, las áreas en rojo se lograron reducir y se desplazaron ahora para la área del norte del estado, donde está la área más desértica. En el mes de Diciembre el PNDVI del estado tuvo una mejoría bastante significativa y reduciendo las áreas que presentaban valores por debajo de su histórico. Finalizando el año con los municipios de Manuel Benavides, Adama, Coyame como los municipios más afectados con valores de PNDVI por debajo de su promedio histórico.

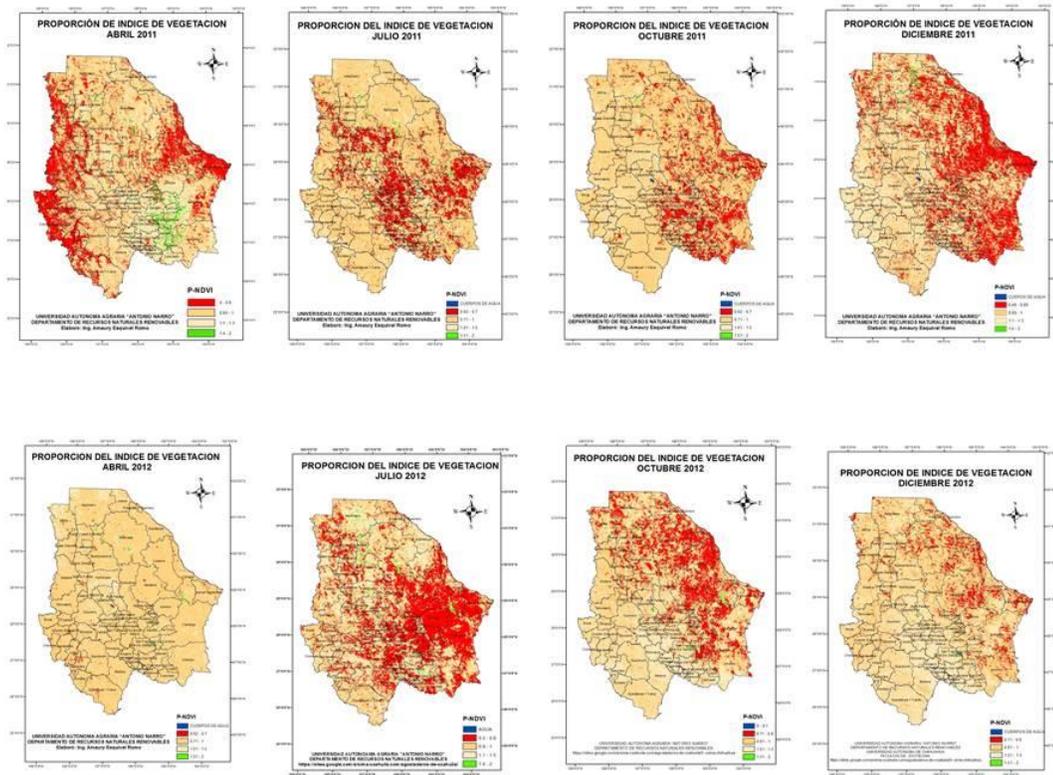


Figura 20.- Mapas correspondientes al comportamiento del P-NDVI en los meses de Abril, Julio, Septiembre, Octubre y Diciembre de los años 2011 y 2012.

IEA Mensual

Para apreciar mejor el comportamiento del IEA mensual de 2009 al 2013 se continuará utilizando los cuatro puntos mencionados, los cuales son: 6924, 7030, 6017 y 5636 estos están ubicado en los municipios de Ojinaga, Camargo, Ahumada y Guachochi estos puntos están tomados de una malla de precipitación de 20 x 20 km.

En la Figura 21 podemos ver el comportamiento del IEA en el municipio de Ojinaga, en el año 2009 desde el inicio del año en el mes de enero al mes de Septiembre presento más biomasa respecto a su promedio histórico, fue en el mes de julio donde se presentó el valor más alto de IEA 1.37 el cual presenta el 37% más de biomasa respecto a su histórico, pero en los meses finales del año Octubre a diciembre fue cuando se presentaron valores por debajo de su promedio histórico. Para el año 2010 los valores más altos de IEA se presentaron en los meses de Mayo y Julio con sus valores de 1.02 y 1.01 respectivamente, esto lo podemos ver de que en estos meses solo se presentó .02 % más de biomasa respecto a su histórico, el resto de los meses estuvieron por debajo de su normal 1. Aunque en este año fue donde se presentó el huracán “Alex”, en la gráfica podemos observar como si el IEA aumento un poco en los meses de Mayo a Julio pero aun con esto estuvo por debajo de su promedio histórico. En los años 2011 y 2012 todos sus valores de IEA se presentaron valores por debajo de su promedio histórico exceptuando solo el mes de junio del 2012 el cual presento un valor de IEA de 1.04. Para inicios del año 2013 con la ausencia de precipitaciones considerables el IEA continúa por debajo de su promedio histórico.

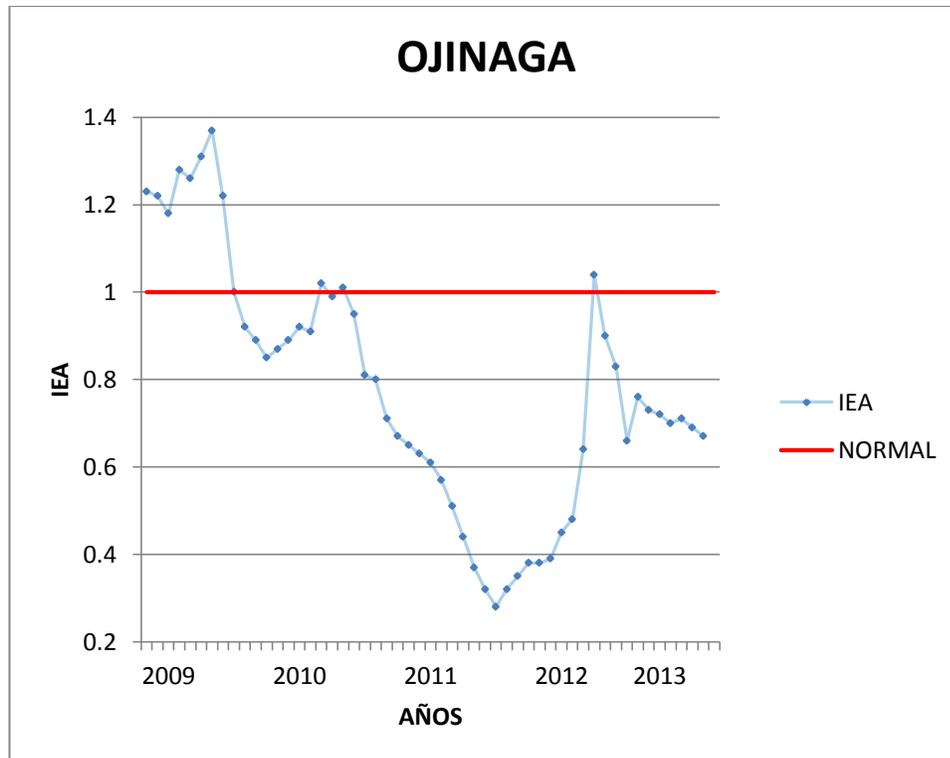


Figura 21.- Distribución del IEA mensual de los años 2009 al 2013 en el municipio de Ojinaga, Chih.

En la Figura 22 en el municipio de Camargo podemos observar el comportamiento del IEA iniciando en el año 2009 el cual su valor más alto se presentó en el mes de julio con un valor de IEA de 1.09, por otra parte todos los meses del año se presentaron casi al 60% debajo de su promedio histórico, en el mes de diciembre tubo su valor más bajo de 0.65 por debajo de su normal. En el año 2010 también todo el año tiene valores por debajo de su histórico, pero es de notarse que en el mes de julio del 2010 realza un poco su valor de IEA llegando a 0.9 este quizás se deba al huracán “Alex”. En el inicio del año 2011 inicia con su valor de IEA de 0.65, de ahí el resto de los meses se comportaron en forma descendente hasta llegar al mayo del 2012 donde se registró su valor más bajo de IEA de 0.22, en estos dos años los IEA se

mantuvieron casi un 40 % por debajo de su promedio histórico. A inicios del 2013 aun con falta de precipitaciones los IEA para los primeros meses del año se comportaron a la baja respecto a su histórico, casi al 50% por debajo.

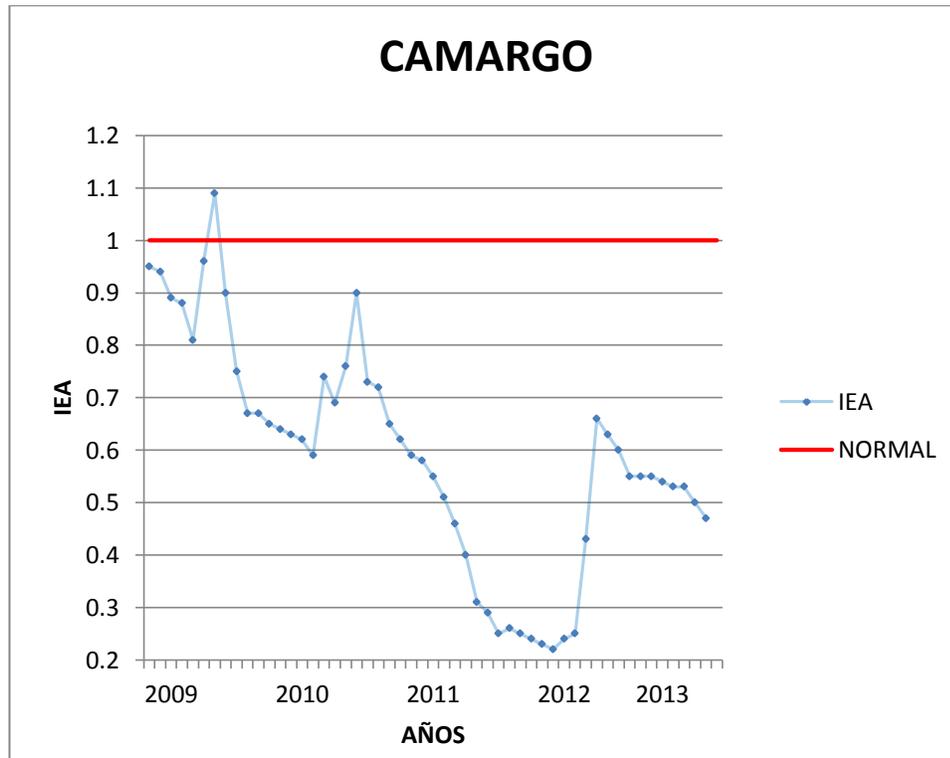


Figura 22.- Distribución del IEA mensual de los años 2009 al 2013 en el municipio de Camargo, Chih.

En la Figura 23 podemos ver el comportamiento del IEA en el municipio de Ahumada, en el año 2009 podemos ver como si IEA en los primeros tres meses se comportó un poco por encima de su normal, mientras que el resto del año tubo valores muy por debajo de su promedio histórico o de su normal casi al 30% por debajo de este valor normal, en el año 2010 aun que todos sus IEA están por debajo de lo normal podemos apreciar como en los meses julio y agosto de este año se remontaron tan solo un poco en sus valores registrados

En la Figura 24 podemos ver el comportamiento del IEA para el municipio de Guachochi iniciando en el año 2009 con los seis de sus primeros meses por debajo de su normal y mostrando los meses de Julio y Agosto que se retomó el valor del IEA para estos meses con valores de 1.13 y 1.09 respectivamente, en los meses de septiembre y octubre decayó un poco por debajo de lo normal y al final del año en sus dos meses restantes termino con un valor IEA por encima de lo normal de tan solo 1.07 un valor bajo pero por encima de lo normal. Para el año 2010 todos sus meses quedaron por debajo de lo normal, fue en el mes de Julio cuando con la presencia del huracán “Alex” se logro llega tan solo a la normalidad de ese punto en el mismo mes, de este mes todos los valores correspondientes al año siguiente se mostraron en forma descendente nuevamente el mes de agosto del 2011 en el cual el IEA fue de 0.72 un punto alto en comparación con los demás valores. Para el año 2012 sus valores de IEA se presentaron en forma descendente hasta el mes de octubre el cual registro su valor de IEA mas alto este valor fue de 0.75 el cual continua 30% por debajo de lo normal, y para el año 2013 en sus primeros cuatro meses se sus valores de IEA continúan comportándose en una forma no muy alentadora.

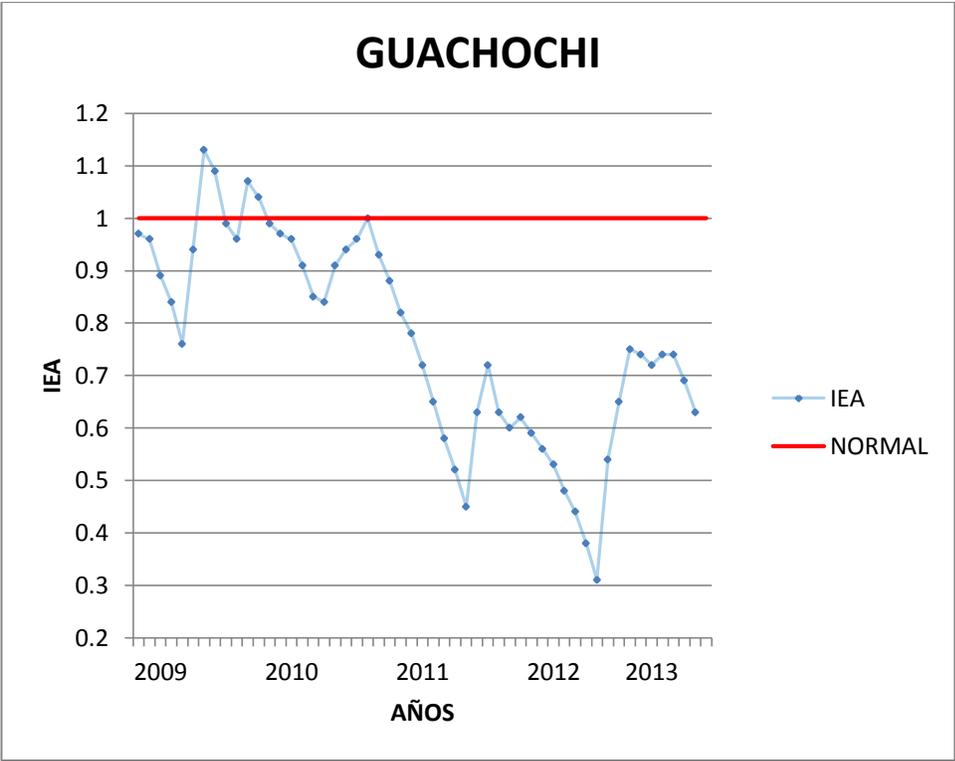


Figura 24.- Distribución del IEA mensual de los años 2009 al 2013 en el municipio de Guachochi, Chih.

Promedio IEA

En la Figura 25 en el año 2009 los municipios; Jiménez, Julimes, Aldama, Aquiles Serdán, Meoqui, Delicias, Rosales y Ojinaga presentaban en algunas áreas de estos municipios el 50% de biomasa por encima de la biomasa histórica promedio, algunos lugares de los municipios del este del estado presentaron una franja en la cual demostró tener el 30% de biomasa a partir de su promedio histórico, la parte de la sierra y norte del estado presentan lugares en los cuales la biomasa actual está igual a la de su promedio histórico. Para el año 2010 solo un pequeño porcentaje presenta valores superiores al 50% de la biomasa a partir de su histórico estos municipios son en la área del norte: Janos, Ascensión, Buenaventura, en la área de la frontera con EUA son: Juárez, Praxedis, Guadalupe, Ojinaga y Manuel Benavides y en la área del este: a Jiménez, fue este el municipio al que le llegó más fuerte los estragos finales del huracán “Alex”, es por ello que tiene una mayor proporción de áreas verdes. Gran parte del centro del estado además de los municipios de Madera, Casa Grandes, Ahumada y Coyame presentan un déficit del 60% menos de su biomasa a partir de su histórico. Para el año 2011 en su área serrana del estado presenta valores muy cercanos a 1, lo cual indica que estos lugares están igual a su promedio histórico, el área desértica del estado en los municipios de: Ahumada, Aldama, Coyame y partes de Ojinaga y Camargo presentan valores de 50% por debajo de su promedio histórico, las áreas con buena relación a partir de su promedio histórico son: Janos, Ascensión, Casa Grandes, Buenaventura, Namiquipa, Chinipas, Guadalupe y Jiménez estos municipios tienen arriba del 50% de biomasa a partir de su histórico. Para el año 2012 las áreas que presentan buena relación a partir de su histórico son: Janos, Ascensión, Casa Grandes, Guadalupe, Ojinaga, Manuel Benavides, Moris, Uruachi y Chinipas, estos presentan valores por arriba del 50% de la

biomasa a partir de su promedio histórico, las áreas que presentan un déficit en su producción de biomasa es principalmente el centro del estado y parte del municipio de Camargo en el este y algunos municipios del norte como son: Aldama, Coyame, Chihuahua y Ahumada estos son los municipios que están al 60% por debajo de la producción histórica de biomasa para este año.

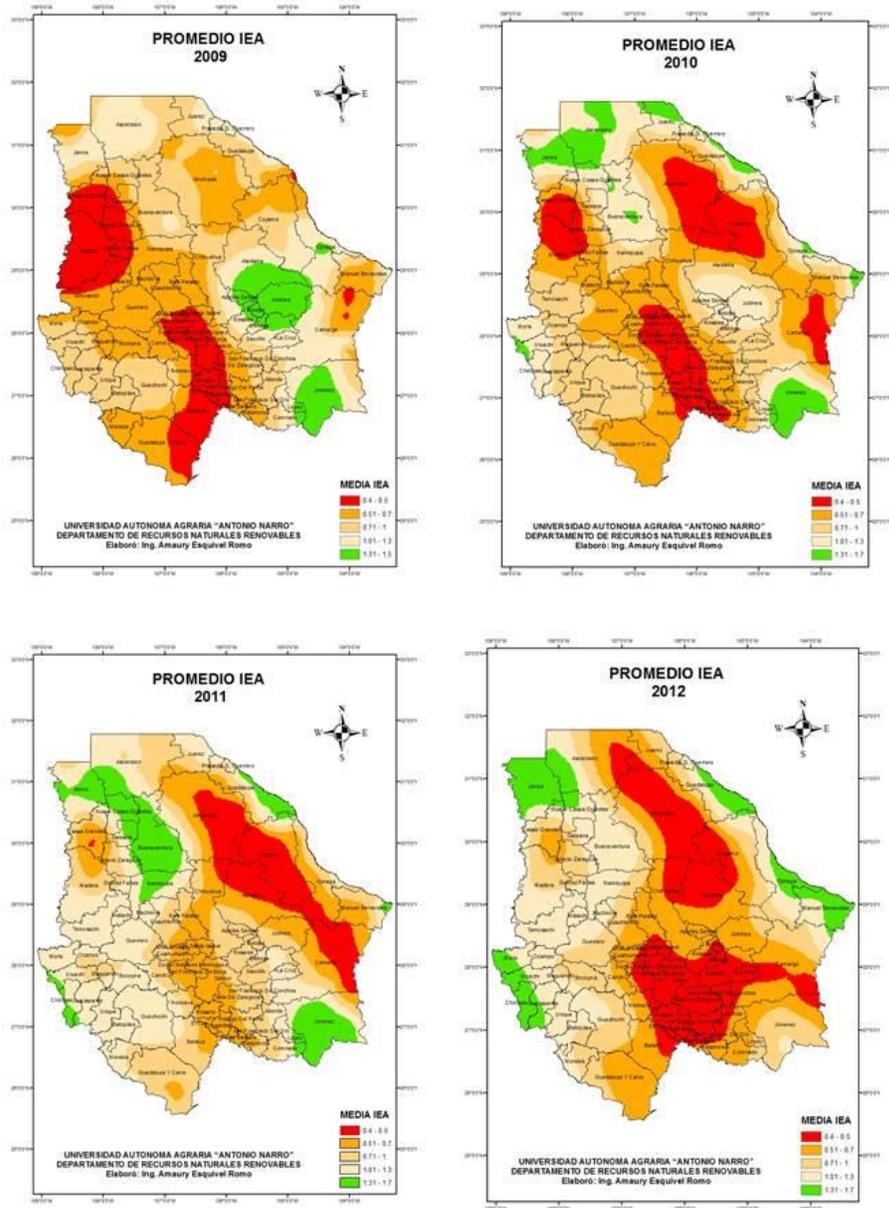


Figura 25.- Mapas correspondientes al promedio anual del IEA de los años 2009 al 2012.

Relación Entre La Precipitación Mensual Observada (PMO), P-NDVI E IEA.

Para poder describir la correlación entre estos factores se utilizarán los puntos: 6924, 7030, 6017 y 5636, estos están ubicados en los municipios de Ojinaga, Camargo, Ahumada y Guachochi.

Se puede observar en la Figura 26 en el municipio de Ojinaga son las fluctuaciones del P-NDVI y el IEA respecto a la PMO a lo largo de los años 2009 al 2013, como se observa el comportamiento del IEA y P-NDVI estos presentan una $r = 0.6$ en los dos primeros años se mantiene muy semejante, logrando una alza en el 2010 en el mes de junio debido a las precipitaciones ocasionadas por los estragos finales del huracán "Alex", en el año 2011 como no se presentaron lluvias significativas el IEA y el P-NDVI decayeron por muy por debajo de su promedio histórico, en el año 2012 con algunas precipitaciones a destiempo que se presentaron en el lugar lograron incrementar un poco los valores de IEA y P-NDVI, pero como estos índices responden a las precipitaciones mensuales y estas fueron pocas y fuera de tiempo los anteriores índices lograron incrementarse un poco, pero insuficiente para poder lograr estar por arriba de su promedio histórico. Para los inicios del 2013 como no hay presencia importante de precipitaciones y los valores de IEA y P-NDVI no se incrementan y continúan a la baja, ya que estos índices responden a las precipitaciones ocurridas en el lugar.

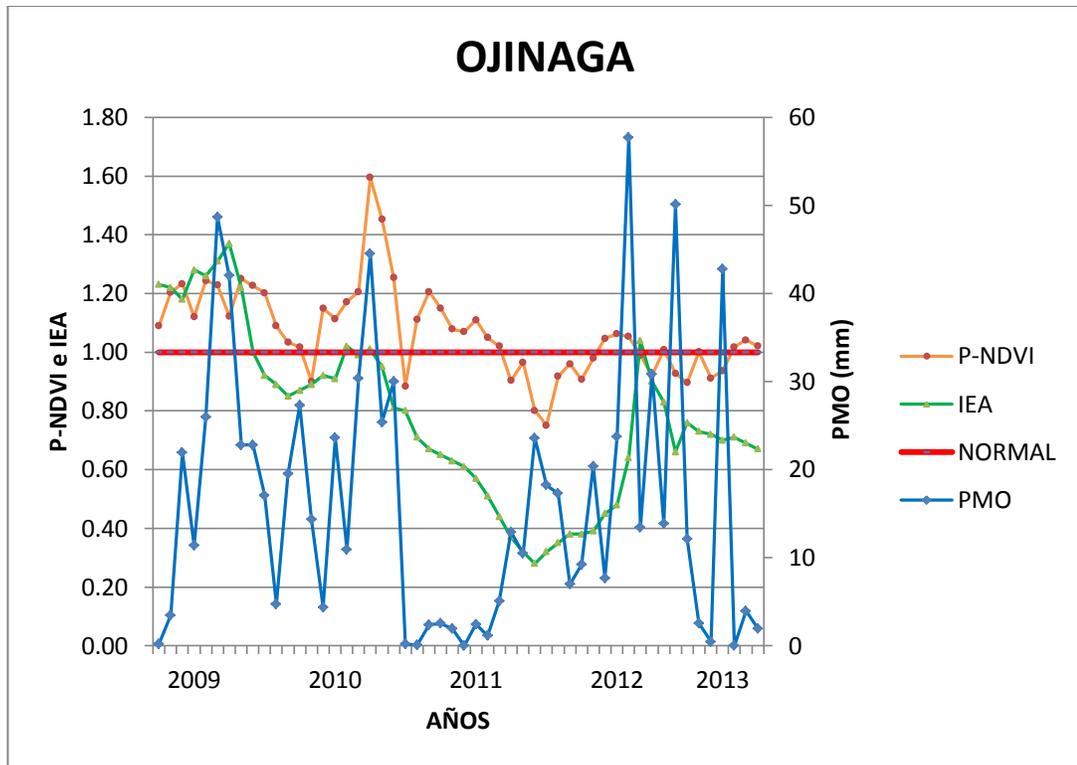


Figura 26.- Relación del P-NDVI, IEA Y PMO para el municipio de Ojinaga, Chih.

En la Figura 27 en el municipio de Camargo podemos observar el comportamiento del IEA y el P-NDVI los cuales presentan una $r = 0.4$, en el año 2009 los cuales si responden a la precipitación observada, para los inicios del año 2010, se observa que la precipitación decae un poco y con ella el IEA ya que este depende principalmente de la precipitación media observada, pero el P-NDVI se mantiene al inicio del año, pero para el mes de julio de este año con la caída de las lluvias provocadas por el huracán “Alex” se incrementa la PMO y con ella el IEA y consecuentemente el P-NDVI alcanzando valores importantes de PMO 91 mm y de P-NDVI 1.95 en este índice se presentó casi el doble de la biomasa en relación a la de su histórico. En el año 2011 como no se presentaron lluvias importantes y/o significativas el principal índice que se ve afectado es el IEA ya que depende demasiado de las precipitaciones ocurridas en el lugar, en cambio el P-NDVI se mantiene en valores bajos pero por

encima de su normal debido a la cantidad de lluvias caídas en el año anterior (las plantas tomaron humedad del año pasado es por ello que reverdecieron), pero solo soportaron los primeros meses ya que en año 2011 se registraron precipitaciones muy bajas y escasas. A finales del 2012 con algunas lluvias que se presentaron fuera de tiempo estas lograron incrementar el IEA pero aun continuo por debajo de lo normal y el P-NDVI no se pudo recuperar ya que fueron lluvias tardías y agreguemos más la falta de precipitaciones oportunas este índice ya no pudo incrementarse. A inicio del año 2013 se presentó una ligera lluvia en el mes de Enero esta presento 32 mm, los cuales proporcionaron humedad para el rebrote de la vegetación del lugar, pero para los demás meses ya no se presentó más precipitaciones, lo cual orillo a que el IEA fuera decayendo al igual que la precipitación.

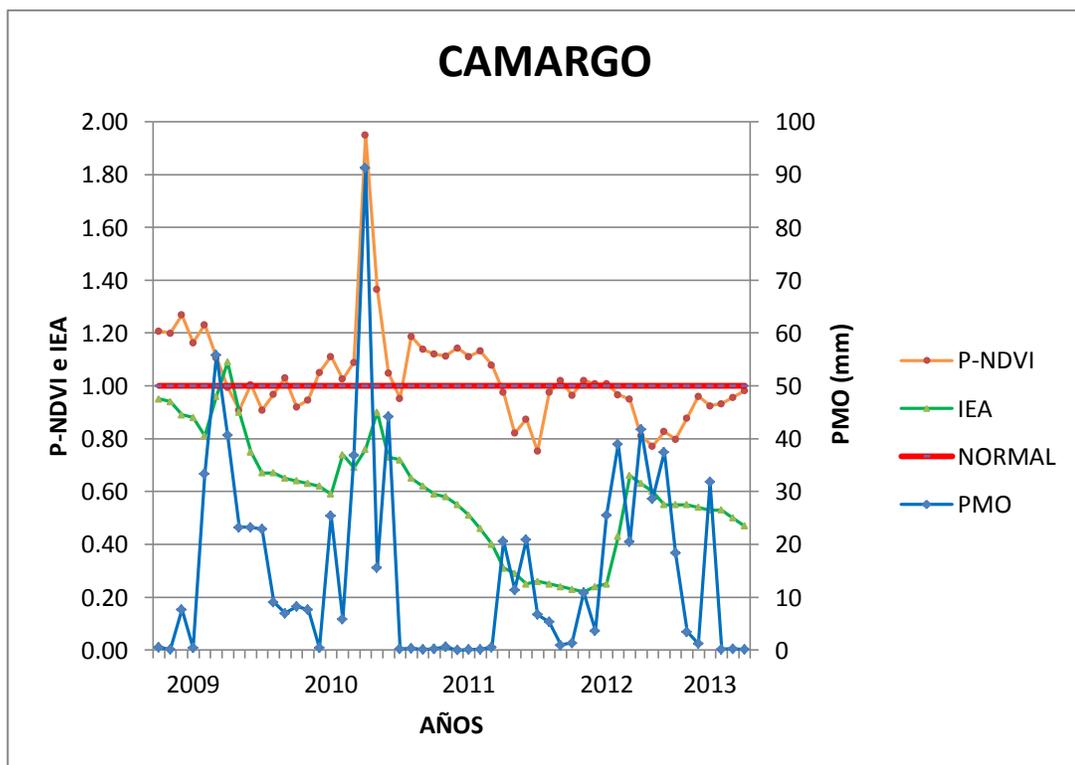


Figura 27.- Relación del P-NDVI, IEA Y PMO para el municipio de Camargo, Chih.

En la Figura 28 podemos ver cómo se comportan los tres factores para el municipio de Ahumada se encontró una $r = 0.44$ para los índices PNDVI y el IEA, en el año 2009 el IEA y el P-NDVI se comportan muy semejantes a lo largo del año 2009, en este año se presentó en el mes de julio un precipitación que origino 43 mm y en los principios del año 2010 cayó un poco las precipitaciones y con ellos el IEA y nuevamente en el mes de julio de este año se presentaron valores altos de PMO, P-NDVI y de IEA esto debido a que en este lugar también se vio afectado por la presencia de los estragos del huracán "Alex". Pero en el año 2011 con la ausencia de las precipitaciones el índice que se ve más afectado y decae es el IEA, el P-NDVI soporta un poco por encima de lo normal pero solo unos meses del año, y decayendo drásticamente en el mes de septiembre de este año y recuperándose un poco al inicio del año 2012, fue en este año en donde no se presentaron lluvias, no fue sino hasta finales de este año cuando se presentaron algunas lluvias fuera de tiempo, las cuales originaron una alza en los valores de IEA y consecuentemente una ligera mejoría en los valores de P-NDVI. Para el año 2013 se registró una pequeña lluvia en el mes de enero con un valor de 11mm los cuales hicieron una ligera mejoría en los valores de P-NDVI pero no mejoraron el IEA ya que fue muy poca la precipitación registrada para los inicios de este año.

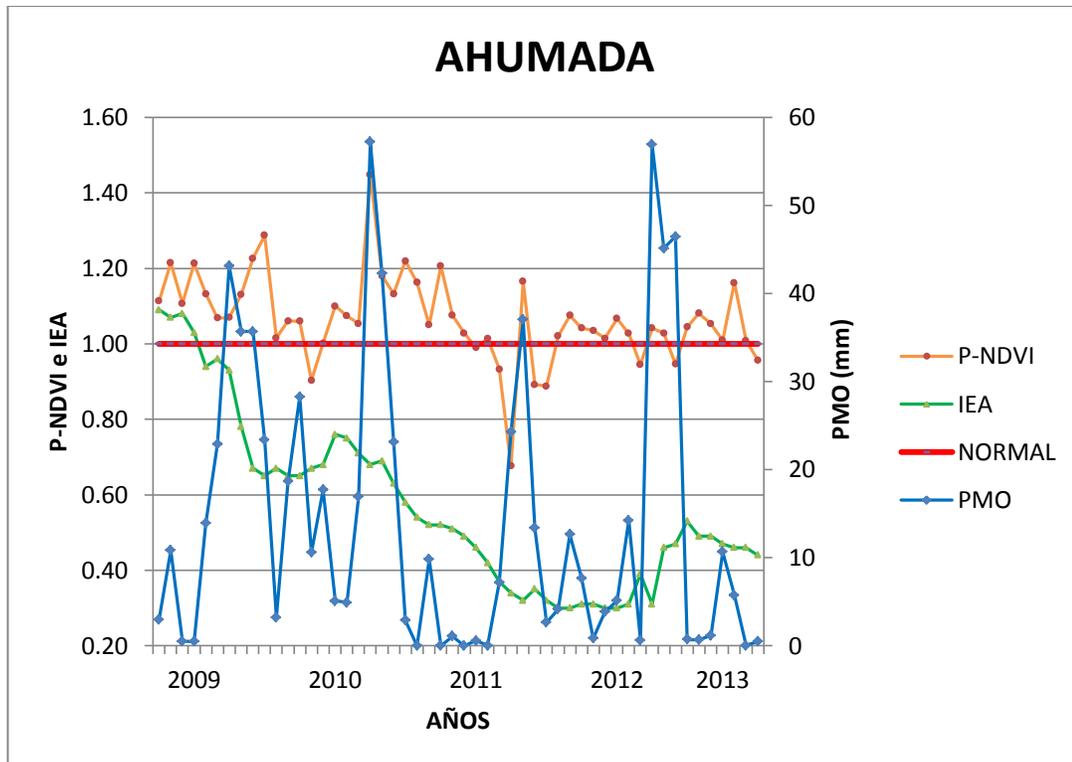


Figura 28.- Relación del P-NDVI, IEA Y PMO para el municipio de Ahumada, Chih.

En la Figura 29 en el municipio Guachochi podemos ver como los P-NDVI e IEA en el año 2009 se comportan en una manera semejante seguidos por la PMO, en el inicio del año 2012 las precipitaciones fueron muy bajas, no fue sino hasta el mes de Julio cuando se presentaron los estragos del huracán “Alex” y la PMO alcanzo su valor de 267 mm lo cual ocasiono que en los primeros meses de año 2011 tuvieron un buen valor de P-NDVI al igual que el IEA se mantenía muy cercano a su normalidad. En el año 2011 para sus primeros meses no se reportaron lluvias importantes lo cual trajo consigo la caída del IEA, pero en el mes de septiembre para este sitio se registró una precipitación importante que trajo consigo un valor de PMO de 201 mm el cual hizo que el P-NDVI alcanzara un valor de 1.59 lo cual nos indica que se presentó casi el 60% más de la biomasa actual respecto a su histórico. De nuevo al inicio del año 2012 no se reportaron precipitaciones importantes lo

cual origino que los valores de IEA cayeran hasta un valor mínimo de 0.31 que lo podemos entender como que estuvo el 70% por debajo de su histórico, pero al final de este año se presentaron algunas lluvias las cuales alcanzaron un valor de PMO 253 mm los cuales levantaron los valores de P-NDVI con 1.30 o bien estuvo 30% por encima de lo normal, en cambio el IEA también incremento sus valores pero aun así no lo logro pasar el umbral de la normal y quedándose como valor máximo de IEA 0.75 o bien 25% por debajo de lo normal. En el inicio del 2013 ya no se presentaron lluvias lo cual origino a que el IEA se decayera, pero su P-NDVI se mantuvo debido a las últimas lluvias registradas en el año 2012.

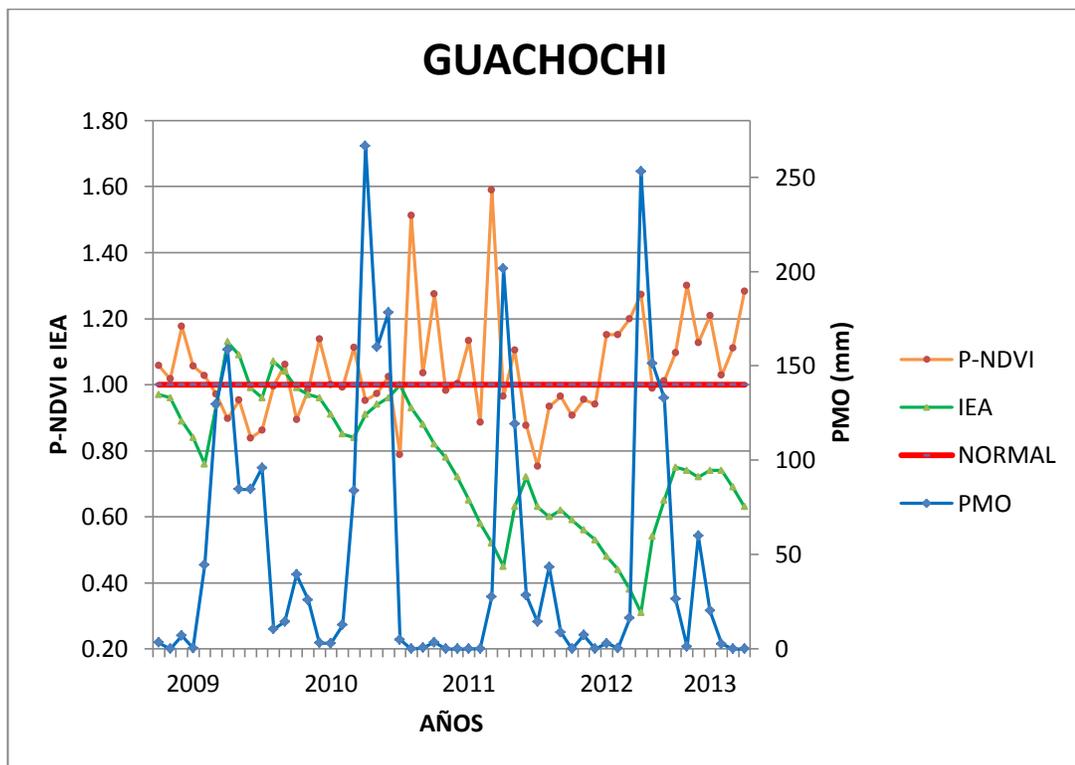


Figura 29.- Relación del P-NDVI, IEA Y PMO para el municipio de Guachochi, Chih.

FOTOGRAFIA DIGITAL Y MUESTREO EN CAMPO

En este muestreo se obtuvieron 3,120 fotografías, en los 39 sitios de muestreo distribuido en las cuatro estaciones del año. Cada una de las imágenes fue clasificada usando el programa ENVI 4.3.



Figura 30.- Fotografía del 01 del sitio13 en el estado Chihuahua

Lo que nos muestra la Figura 31 es una fotografía ya clasificada con los elementos que la constituyen, que para este caso solo se presentó (suelo, gramínea y sombra), los colores que los representan son rojo, verde, y azul respectivamente, para realizar esto es importante seleccionar bien los puntos de control, ya que estos son la partida para determinar bien los elementos que conforman de dicha imagen.

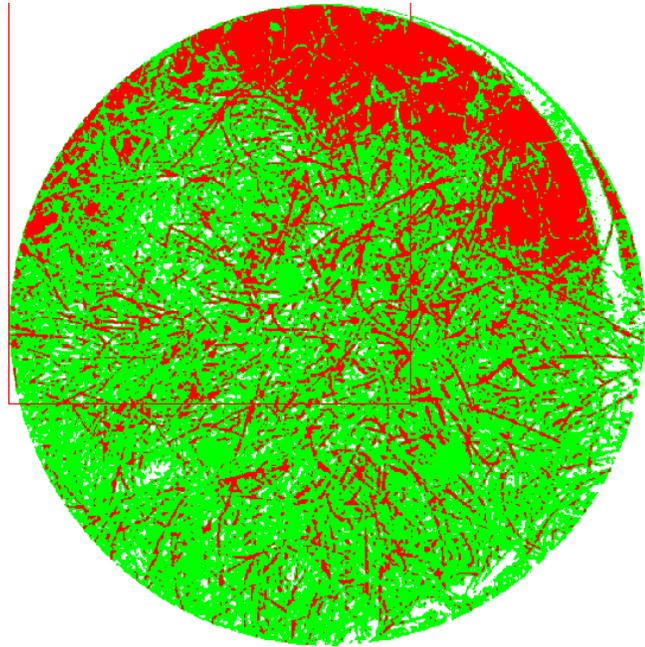


Figura 31.- Fotografía 01 del sitio 13 en el estado Chihuahua clasificada con el programa ENVI 4.3.

En la Figura 32 podemos ver la forma en que el programa ENVI ofrece los resultados, los cuales están en porcentaje de cobertura para cada elemento seleccionado que para este caso fueron de suelo, forraje y sombra.

```

Select Stat v
-----
Filename: [Memory2] (640x640x1)
Dims: Full Scene (409,600 points)

Class Distribution Summary
SUELO [Red] 1687 points: 93,231 points (22.761%)
GRAMINEA [Green] 2505 points: 201,598 points (49.218%)
CONTORNO [White] 1113 points: 114,771 points (28.020%)

Stats for Class: SUELO [Red] 1687 points
Basic Stats      Min      Max      Mean      Stdev
Band 1           1        1        1.000000  0.000000

```

Figura 32.- Archivo de salida *.txt con los datos de porcentaje de cobertura obtenidos de la clasificación con el programa ENVI 4.3

Los anteriores resultados de los porcentajes de cobertura clasificados por el programa ENVI (predicho) se integraron a una base de datos, en donde se relacionaron con las estimaciones observadas en campo.

Relación de los datos de porcentaje de cobertura obtenidos con el programa ENVI 4.3 y las estimaciones en campo.

La Figura 33 muestra la distribución de los valores de la cobertura de gramíneas observados en campo (observado) y los estimados por el programa ENVI 4.3 (predicho), esto basado en la fotografía digital para los 39 sitios de muestreo en las cuatro estaciones del año. Se tuvo una correlación entre los datos observados y los predichos de $r = 0.6$, la cual para cuestiones extensivas o en este caso que se trabajó áreas de agostaderos, se considera buena correlación (r). Algunos de los valores predichos por el programa ENVI 4.3 son mucho más altos que los observados, esto debido a que el programa toma todos los pixeles más parecidos al color que se le señaló, el programa clasifica todos los pixeles y los agrega al color más parecido y especificado en las diferentes regiones de interés

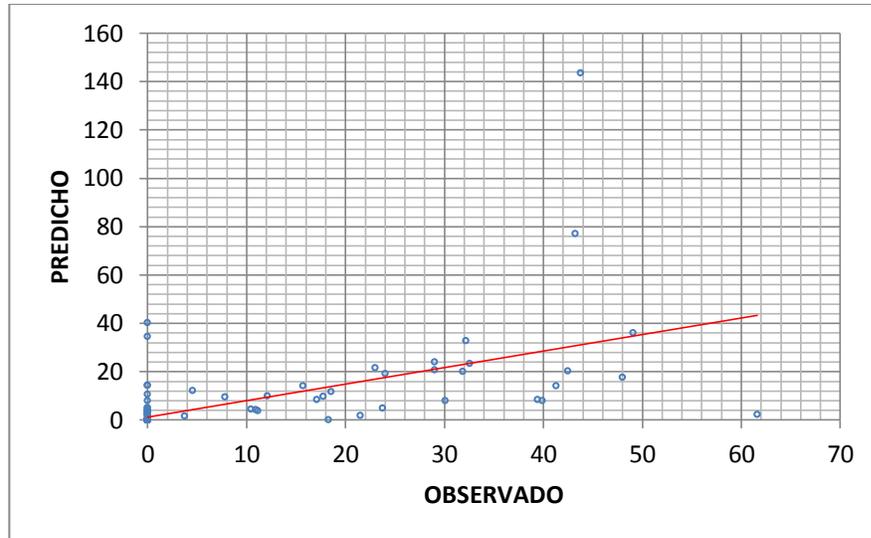


Figura 33.- Distribución de los datos obtenidos con el programa ENVI 4.3 con los valores de cobertura (%) observados en campo.

Relación entre los pesos (observados) y los (predichos) por el método de doble muestreo

La Figura 34 muestra la distribución de los valores de los pesos estimados visualmente en campo y los pesos estimados por corte. Se tuvo una correlación $r = 0.4$ entre las estimaciones visuales y las de corte, dicha correlación se considera favorable debido a que se realizó el trabajo en áreas extensivas donde ningún factor es controlado por el investigador. Parrott *et al.* (2012) comentan que el uso del doble muestreo no tuvo relación cuando las muestras son pequeñas, para una mejor relación se debe de contar con una cantidad de muestras más grande.

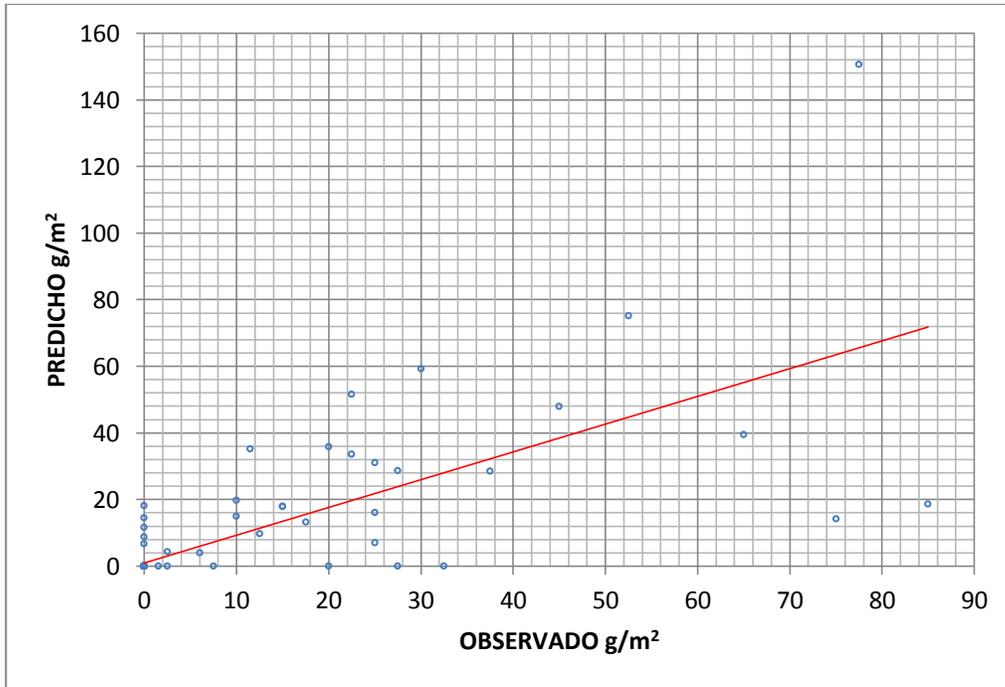


Figura 34.- Distribución de los pesos (g/m^2) estimados y predichos mediante el método de doble muestreo.

V. CONCLUSIONES

El sistema de seguimiento de los agostaderos del estado de Chihuahua mostro las condiciones que se presentaron en el estado en los años 2009 al 2013 mediante el uso del NDVI tomado de las imágenes satelitales. El estado y dinámica de los agostaderos estimado por los sensores remotos como el P-NDVI (obtenido mediante una simple ecuación $\text{NDVI actual} / \text{NDVI histórico}$) el cual se relacionó en una forma positiva con la precipitación observada y con el IEA del modelo SESS. Es importante señalar como estos dos índices P-NDVI y el IEA son muy perceptibles a las precipitaciones ocurridas en los años de estudio para el estado de Chihuahua. Por lo anterior se puede concluir que el sistema de seguimiento es confiable.

Para la estimación de la cobertura de gramíneas mediante el uso de la fotografía digital se obtuvo una correlación 0.6 entre las estimaciones de porcentaje de cobertura de gramíneas entre lo observado y lo predicho del programa ENVI 4.3. Además que también se encontró una correlación de 0.4 entre el peso estimado y el predicho. Esto nos permite concluir que método utilizado para la estimación de cobertura y de peso de gramíneas mediante el uso de las fotografías digitales presentó buenos resultados, ya que en áreas extensivas es difícil controlar los diferentes factores ambientales que pudiesen alterar las áreas de estudio. Para un mejor resultado del uso de la fotografía digital se debe considerar la hora de la captura de las fotografías ya que la presencia de demasiada sombra puede ocasionar problemas, también para

poder desarrollar investigaciones en áreas extensivas se debe de tener ciertos conocimientos básicos en el manejo de los recursos naturales, flora, fauna, suelo, y quizás incrementar también las áreas de estudio.

VI. LITERATURA CITADA

Anaya J. A., Chuvieco E. y Palacios A. 2008. "Estimación de la Biomasa Aérea en Colombia a Partir de Imágenes MODIS". Revista de teledetección. Pp: 5-22.

Bendersky D., 2011 Monitoreo de pastizales "Anomalías del Índice Verde Normalizado (NDVI) de Pastizales de la Provincia de Corrientes". Boletín No. 7 pp: 1-3.

CONAFOR 2011. "Monitoreo Forestal de México" http://148.223.105.188:2222/gif/snif_portal/index.php?option=com_content&task=view&id=2&Itemid=3 visitado por última vez 16 de noviembre del 2011.

Challenger, A., y J. Soberón. 2008. "Los Ecosistemas Terrestres", en Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México, pp: 87-108.

David L. Parrott, John M. Lhotka, Songlin Fei B. Scott 2012. "Improving Woody Biomass Estimation Efficiency Using Double Sampling". Pp: 179-189 Forest.

Di Bella C. 1997. "La Tecnología Satelital como una Herramienta para el Manejo del Pastizal Natural" Tercera Jornada Regional de Manejo de Pastizales Naturales. Instituto Clima y Agua INTA Castelar.

Díaz S. H., (s/a). "SESS-Un Modelo de Simulación en la Computadora para Ranchos Ganaderos" Departamento de Recursos Naturales, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila. pp:1-4.

Díaz S. H., Kothmann, M. M., Hamilton W. T. Grant W.E., 2001 "Un simulador sencillo de sustentabilidad ecológica (SESS) para la gestión de la carga animal en pastizales semiáridos". Sistemas Agrícolas. 76 (2003) pp: 655–680.

Díaz O. R., 2007 Libro: "Utilización de pastizales naturales" pp:56

Flamenco A., (s/a) "Los Sistemas de Información y los Recursos Naturales" Sistemas de Información Geográfica. (Documento) pp: 2-8.

Havstad K. M., Herrick J. E., 2003 "Monitoreo Ecológico a Largo Plazo" USDA Servicio de Investigación Agrícola, Jornada Experimental,17. Pp: 389-400

- Hernández Q. N., Pinedo A. C., Ortega O. C. C., Pinedo A. A., Vélez S. V. C., 2007. "Análisis De Los Pastizales Con Datos Integrados LANDSAT TM–IRS 1C Y Modelos Digitales Del Terreno De Alta Resolución Espacial" Memorias del IV Simposio Internacional de Pastizales, San Luis Potosí, México. Pp: 258.
- Laliberte A. S., Browning D. M., Herrick J. E., Gronemeyer P. 2010 "Clasificación de Objetos basados en la Jerarquía de Extrema y alta Resolución con cámara digital en mapas digitales para la valoración de los pastizales" Revista de Ciencia Espacial., 55, (1), pp: 101-115.
- Medina G. G., Gutiérrez L. R., Echavarría Ch. F. G., Amador R. M. D., Ruiz C. J. A. 2009. "Estimación de la Producción de Forraje con Imágenes de Satélite en los Pastizales de Zacatecas" Técnica Pecuaria en México, 4 (2). Pp:135-144.
- Martínez M. J., Díaz P. A., "Percepción Remota Fundamentos de Teledetección Espacial" Comisión Nacional del Agua. Pp: 8
- Melgoza C. A., 2006. "Situación Actual de los Agostaderos de México" Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Procedimientos de Servicios Forestales. Pp: 40
- Medición de la producción de los pastizales (s/a). "Evaluación del hábitat- Estimación de la biomasa". Documento pp: 5-12., sitio web: <http://www.cnr.uidaho.edu/range357/notes/biomass.pdf> visitado por última vez 22/04/12.

Paz P. F., Bolaños G. M. A., Palacios S. L. A., Pascual R. F., Medrano R. E., Ibarra H. F., “Desarrollo de Curvas Espectrales de Crecimiento Anual de la Vegetación, Usando Sensores Remotos” Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias 2, (4) pp:445-464.

Principios de la Medición de la Vegetación y evaluación., “Capitulo 4 Estimación de la Biomasa y el Muestreo Doble”, Universidad de Idaho, Colegio de Recursos Naturales. Sitio web:
http://translate.google.com.mx/translate?hl=es&sl=en&u=http://www.cnr.uidaho.edu/veg_measure/modules/lessons/module%25206/6_4_Estimates%2520Double%2520Sampling.htm&ei=IKUT8vOA8aQ2QW8w7yKBQ&sa=X&oi=translate&ct=result&resnum=2&sqi=2&ved=0CC0Q7gEwAQ&prev=/search%3Fq%3Ddouble%2Bsampling%26hl%3Des%26safe%3Dactive%26prmd%3Dimvns visitado por última vez: 22/04/12

Tarango A. L. A. 2007 “Diversificación Productiva, Situación Actual y Potencial del Desierto Chihuahuense”. Memorias del IV Simposio Internacional de Pastizales, San Luis Potosí, México. Pp: 5-6.

Terrance B. D., Tueller T. P 2003 “Monitoreo de los Pastizales Usando Sensores Remotos” USDA Servicio de Investigación Agrícola, Cheyenne, Wyoming, USA. 17 pp: 455-467.

Ramírez C. H., Villareal W. C., Hernández M. J. E., Ramos P. B., Zarate M. A., “Monitoreo para la Conservación de Pastizales en la Reserva de Biosfera Mapimí” Memorias del VI Simposio Internacional de Pastizales, San Luis Potosí, México. Nov 2009, pp: 139.

- Rebollo S., Gómez S. A., 2003 “Aprovechamiento Sostenible de los Pastizales”
Revista de Ecología y Medio Ambiente ISSM (Versión en línea): 1697-2473, XII, (003). Pp: 1-11.
- Rovajob F., Mardonov B. K., Nasyrov M. G., Muminov M. A., Mukinov T. X. 2010. “Aplicación de la teledetección y los sistemas de información geográfica para el monitoreo de los pastizales de Uzbekistan.”Revista de ciencias ambientales e ingeniería, ISSN 1934-8932, USA. Volumen 4, No.6 (Serial No.31). pp: 78-83.
- Sandoval M. Y. 2003. “Monitoreo De Quemas De Pastizales Y Cuantificación De Superficies Devastadas Por Incendios Forestales Mediante Imágenes NOAA–AVHRR Y LANSAT ETM 7+”. X Conferencia Latinoamericana de Usuarios SIG. Universidad Autónoma de San Andrés, Bolivia. Pp: 1-10.
- Schino G., Borfecchia F., De Cecco L., Dibari C., Iannetta M., Matini S., Pedrotti F., 2003 “Estimación de la Biomasa Herbácea por Satélite en una Cadena Montañosa en el Centro de Italia” Sistemas Agroforestales 57 pp: 157-162.
- Chen P. Y., Fodosejevs G., Tiscareño L. M., Arnold J. G. 2006 “evaluación del MODIS-EVI, MODIS-NDVI y Vegetación-NDVI, Datos Compuestos con Agricultura en los Campos de Maíz en el Suroeste de México” Monitoreo y Evaluación Ambiental pp:69-82.

Zarate L. A. 2007 “Sistemas de Información Geográfica y Estudios de Impacto Ambiental”. Memorias del IV Simposio Internacional de Pastizales, San Luis Potosí, México. Pp: 20-22.

Zerda H. R. y Tiedemann J. L. 2010 “Dinámica Temporal del NDVI del Bosque y del Pastizal Natural en el Chaco Seco de la Provincia de Santiago del Estero, Argentina”. Revista del Sector de Ciencias Agrarias y Ambientales, 6, (1), pp: 13-24.

Yarza K. WWF-MEXICO “el Desierto Chihuahuense”

http://www.wwf.org.mx/wwfmex/prog_desierto.php visitado por última vez 22/05/2013

(UACH 2008) “Marco de Referencia”.

<http://www.fz.uach.mx/data/files/docs/10f%20Marco%20de%20Referencia%20CA16.pdf>. Visitado por última vez: 8/11/11

VII. APÉNDICE



UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
"BIOMASA"

Estado: _____ Observador: _____ Fecha _____

No. Sitio: _____ Coord_X_UTM: _____ Coord_Y_UTM: _____ Estación-año: _____

No. Punto	% Gramíneas	% Herbáceas	% Arbustos	% Suelo Desnudo	PF. Gramíneas. Estimación (visual)		PR. Gramíneas Estimación (Real)		Condición del pastizal
					Aro 1	Aro 2	Aro 1	Aro 2	
1									
2									
3									
4*									
5									
6									
7									
8*									
9									
10									
11									
12*									
13									
14									
15									
16*									
17									
18									
19									
20*									

Figura 35. Bitácora del muestreo en campo.

