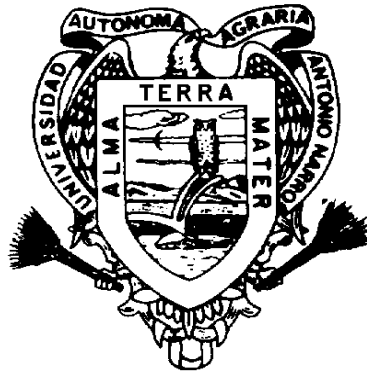


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL



*Uso de fotografía digital para estimar la
biomasa en matorral espinoso Tamaulipeco.*

Por:

DOMITILA QUEZADA TREJO

T E S I S

Presentada Como Requisito Parcial para
Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Noviembre de 2005

**TESIS ELABORADA BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE
ASESORÍA Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL, PARA OBTENER EL**

TITULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

COMITÉ PARTICULAR

Asesor principal: _____

DR. HERIBERTO DÍAZ SOLÍS

Asesor: _____

ING .M. Sc. SILVIA X. GONZÁLEZ ALDACO

Asesor: _____

ING. M. Sc. MYRNA J. AYALA ORTEGA

Asesor: _____

Ing. M. Sc. REGINALDO R. DE LUNA VILLAREAL

Dr. Ramón García Castillo
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Noviembre de 2005

DEDICATORIA

A DIOS

Creador supremo de todo universo, por darme la vida, guiarme y protegerme en cada momento de mi vida.

A MIS PADRES

Sr. Alejandro Quezada Trejo por su apoyo incondicional, por sembrar en mí ese espíritu de superación y de lucha, gracias a ello ahora alcanzo una meta más en mi vida.

Sr. Virginia Trejo Rosales por su gran amor, confianza y consejos recibidos, además de su gran valentía y sacrificio realizado para culminar mis estudios.

A MIS HERMANOS

Martha, Gregorio, Sefe, Jacinto, Natalia e Ignacia. A ellos por haberme brindado, amor, confianza y apoyo para formarme en lo que ahora soy. Mil gracias. Dios los bendiga siempre.

A MIS SOBRINOS (AS) Y CUÑADOS

Cristian, Alan, Lupita, Jorge y Diana.

Bernabé, Benito y Daniel.

AGRADECIMIENTOS

A mi “**ALMA MATER**” la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por brindarme la oportunidad realizar mi formación profesional.

Mi mas sincero agradecimiento al **Dr. Heriberto Díaz Solís** por su gran interés en la realización y culminación de este trabajo, además de sus opiniones y sugerencias compartidas.

A la **Ing. M. Sc. Silvia X. González Aldaco** por la gran labor e interés en la realización del trabajo de campo, por sus asesorías y sugerencias para lograr este trabajo de tesis.

A la **Ing. M. Sc. MYRNA J. AYALA ORTEGA** por su apoyo en la revisión y recomendaciones para una mejor presentación de este trabajo.

Al **Ing. M. Sc. Reginaldo R. de Luna Villareal** por el apoyo en la revisión y sugerencias para la presentación de este trabajo.

Un sincero agradecimiento al **Sr. Carlos Solers y Familia** propietario del rancho “El Pato” por la atención y su total disponibilidad para la realización de este trabajo.

A mis amigos: Antonio, Abigail, Lupita, Francis, Mary Chuy, Javier, José Luís, Orlando, Israel (Santos), y señor Jesús Cabrera Hernández del departamento de Recursos Naturales. Por el apoyo y amistad que me han brindado. En especial a Samuel López por llegar a mi vida, por su amor, comprensión y por los momentos tan hermosos que hemos compartido.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO	2
HIPÓTESIS	2
REVISIÓN DE LITERATURA	3
Pastizal.....	3
Importancia de los pastizales.....	4
Pastizales en el Norte de México.....	6
Métodos para la estimación de biomasa total sobre el suelo.....	7
Métodos destructivos o directos.....	8
Método de corte.....	8
Doble muestreo.....	8
Regresión lineal.....	9
Métodos no destructivos indirectos.....	10
Disco medidor (DM).....	11
Bastón medidor (BM).....	11
Plato medidor (PM).....	12

Factores que afectan al momento de la medición de la biomasa.....	12
Rendimiento de la producción de la biomasa disponible.....	13
Fotografía digital.....	14
Cámaras digitales.....	15
Tecnología digital.....	15
Resolución de la imagen.....	15
Formato para el almacenar un imagen.....	16
Modos y modelos de color.....	16
Histograma.....	17
Teoría del color.....	17
Aplicación de la fotografía.....	19
Índices de vegetación.....	19
MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
Descripción del Área de estudio.....	21
Metodología experimental.....	23
Método de la fotografía digital.....	24
Tratamiento de las fotografías digital.....	24
Obtención de modelo.....	27
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
Análisis de correlación.....	27
Obtención de los modelos.....	28
CONCLUSIONES.....	34
RESUMEN.....	35
LITERATURA CITADA.....	36

ÍNDICE DE CUADROS

	Pag.
Cuadro1 Datos obtenidos de la fotografía b.	25
Cuadro 2 Rangos considerados para las 4 tonalidades.	26
Cuadro 3 Resultados encontrados en el análisis de correlación lineal.	28
Cuadro 4 Resultados obtenidos de las fotografías c y d.	33

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1 Ejemplo de fotografías. a) fotografía original; b) fotografía recortada.	25
Figura 2 Relación entre el porcentaje en gris claro y la biomasa total sobre el suelo.	29
Figura 3 Relación entre el porcentaje en gris claro y forraje.	30
Figura 4 Relación entre el porcentaje en gris claro y materia seca de tallos (kg MS/ha).	31
Figura 5 Comparación de dos fotografías. c) fotografía con mayor cantidad de biomasa; d) fotografía con menor cantidad de biomasa.	32

INTRODUCCIÓN

Los pastizales naturales, matorrales y desiertos, tienen como características distintivas la composición botánica (zacates, herbáceas y arbustos), por lo cual se identifican como recursos naturales renovables. Estas comunidades vegetales son el sustento de los animales en pastoreo, ocupan aproximadamente un 47% de la superficie terrestre.

El mayor problema que enfrentan las regiones es la pérdida de cobertura vegetal que reduce la producción animal y promueve la erosión del suelo. La principal causa ha sido la sobre utilización de los pastizales. Para tener una idea de la carga animal que puede soportar un pastizal se debe conocer la biomasa disponible dentro de ella para evitar el sobre pastoreo, es decir, el pastoreo con un numero mayor de animales de los que puede sostener un pastizal.

En la actualidad existen varios métodos para estimar la cantidad total de biomasa presente por unidad de superficie, en el cual destaca el método de estimación que consiste en la determinación del promedio de peso de los rebrotes en todas las especies en el área de muestreo y se multiplica por el peso promedio para esa especie el cual es muy laborioso y muy tardado.

Por lo anterior es necesario utilizar métodos más eficientes en cuanto a precisión y tiempo de muestreo para la estimación de variables de tal importancia. La fotografía digital esta teniendo mucha importancia en la ciencia moderna debido a sus múltiples aplicaciones, siendo una de estas la estimación

de la cobertura vegetal sobre el suelo. Por ejemplo en el área forestal el uso que se le da actualmente a la fotografía digital es la estimación de material combustible en un incendio con fotos aéreas. Este método resulta muy práctico y útil debido a su fácil análisis mediante una computadora.

OBJETIVO

Desarrollar un nuevo método rápido y confiable de estimación de biomasa en comunidades de arbustivas por medio de la fotografía digital.

HIPÓTESIS

El método de fotografía digital con un estimador de regresión puede ser desarrollado para estimar biomasa en especies arbustivas.

REVISIÓN DE LITERATURA

Pastizal

De acuerdo con Huss y Aguirre (1979) definen pastizal, como cualquier área que produce forraje, ya sea zacate, leguminosas, arbustos ramoneables, hierbas o mezclas de estas.

Sampson (1952) y Dyksterhuis (1955) mencionan que pastizal es un área que presenta vegetación nativa. Sin embargo, Humprey (1962) define el término como todas aquellas tierras no irrigadas que se utilizan a través del pastoreo de los animales domésticos y silvestres.

Algunos sitios de pastoreo representan amplios espacios de aprovechamiento común lo que implica un alto riesgo de deterioro Hardin, (1968). Las causas principales de este deterioro son: la carencia de políticas definidas sobre su aprovechamiento, el desconocimiento de sus potencialidades, de sus capacidades productivas, de los usos y destinos de la producción (Medina *et al.*, 1985).

Duch *et al.* (1992) mencionan que los pastizales naturales, dominados por gramíneas, adecuados para pastoreo, así como comunidades de arbustos, hierbas y chaparrales, producen alrededor de un 75% del forraje para la alimentación animal, a nivel mundial.

Importancia de los pastizales

Según Williams *et al.* (1973) mencionan que la importancia de las tierras de pastizales naturales para el género humano aprecia los siguientes aspectos, que son fuente de alimento para el ganado domestico y la fauna silvestre, así como:

Cuencas hidrológicas: Las enormes extensiones de los pastizales hacen las veces de cuencas hidrológicas receptoras de la precipitación pluvial que, finalmente, va a dar a ríos arroyuelos y pequeñas corrientes de agua, o se infiltra en el suelo para reabastecer los manantiales y depósitos subterráneos de agua. Una vegetación bien manejada suministra agua para la agricultura, ciudades e industrias. En regiones áridas y semiáridas se estima que de 85 a 95% de la precipitación se evapora o es consumida por plantas, por lo tanto solo un 5 a 15% de la precipitación es utilizada para la recarga de acuíferos o corrientes superficiales (Brooks *et al.*, 2003).

Hábitat para la fauna silvestre y organismos del suelo: La mayor parte la fauna silvestre mundial se encuentra distribuida en tierras de pastizales. Asimismo, los suelos de pastizal bien cuidados sirven de hábitat para millones de microorganismos tales como bacterias, hongos, algas y otros. La fauna silvestre es un componente inevitable y necesario del pastizal (Williams *et al.*, 1973).

Conservación del suelo y agua: Una cubierta adecuada de vegetación natural en los pastizales proporciona una protección eficaz y económica para la conservación del suelo y agua (Williams *et al*, .1973).

Producción de combustible y madera: Una parte considerable de los pastizales son las tierras forestales. En los países de desarrollo es importante el uso de la leña como combustible y material de construcción. En las zonas áridas del Norte de México, una planta abundante y muy apreciada por su madera dura y resistente es el mezquite, que se emplea como material para construcción de techos de casas-habitación, carretas, muebles y para la elaboración de carbón vegetal (Beltrán, 1964).

Minerales: Las tierras de los pastizales aportan ricos yacimientos de minerales, petróleo, carbón, estaño y uranio. En el Norte de México y el Sur de los Estados Unidos son una muestra de la riqueza del suelo de pastizales (Williams *et al*,. 1973).

Productos industrializables: Grandes superficies de pastizales contienen en sus flora especies naturales de gran valor económico y social como: la lechuguilla, candelilla y nopal los cuales son de gran importancia para los campesinos. El uso combinado de estas tierras de apacentamiento con la explotación de los recursos espontáneos permite la optimización de la productividad de estas tierras (Williams *et al*,. 1973).

Recreación: El uso múltiple de los pastizales en los ranchos ganaderos del norte del país tienen una gran importancia debido a la creciente necesidad e interés de las poblaciones urbanas por las actividades al aire libre además de ofrecer un paisaje placentero y brindar una gran variedad de sitios para el descanso y paseo. La posibilidad de incrementar los ingresos de los ranchos ganaderos a través de la crianza y explotación de fauna silvestre es otra alternativa viable de utilizar los pastizales (Society for Range Management, 1989).

Pastizales en el norte de México

En los estados de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas existen más de 50 millones de hectáreas de pastizales que son utilizadas en la ganadería extensiva (Knight, 1999).

Rzedowski, (1978) menciona que las tres principales áreas ecológicas del noreste de México corresponden al matorral desértico del estado de Coahuila, a la zona de matorrales espinosos de la provincia biótica Tamaulipeca (Nuevo León y Tamaulipas) y el bosque de la sierra Madre Oriental. De acuerdo a estudios sobre la vegetación nativa de México, los matorrales representan el más extenso tipo de vegetación de la región noreste y ocupan aproximadamente el 40% de la superficie del país. Ibarra *et al.* (1998) mencionan que existe en la actualidad una gran cantidad de áreas de pastizales improductivas y degradadas en diferentes magnitudes ocasionadas por el mal manejo que le da el hombre a los pastizales a través de los años.

Mckell (1975) menciona que solo algunos arbustos, por sus características pueden ser usados en programas de mejoramiento de pastizales degradados por que protegen al suelo de la erosión, como por ejemplo la costilla de vaca *Atriplex canescens*. Este arbusto es altamente aceptable por el ganado domestico y fauna silvestre, tanto las hojas como los tallos, flores y semillas son pastoreados fácilmente por los animales, además de ser un arbusto con un alto valor nutritivo.

Métodos para la estimación de biomasa total sobre el suelo

Las mediciones de disponibilidad de biomasa sobre el suelo es esencial para determinar la capacidad de carga animal y evaluar estrategias de manejo de los pastizales. Para llevar un correcto registro de la disponibilidad de biomasa, es necesario contar con métodos de medición que sean precisos, ya que cualquier error en esta estimación implica pérdidas económicas para los sistemas ecológico y ganadero (Ganguli, 2000).

La disponibilidad de biomasa es uno de los atributos más importantes para evaluar un recurso forrajero. La producción es muy dinámica ya que cambia constantemente en función del crecimiento, senescencia y el consumo por parte de los animales, de allí que su estimación sólo es válida para el momento en que se determina Jaurena, (1991) citado por (Cabrera, 1997).

Métodos destructivos o directos

Método de corte

Squella *et al.* (1990) señalan que el método de corte se aplica como método de referencia, se realiza cortando cuadrantes con tijeras a alturas diversas. El material se pesa en verde y en bolsas de polietileno se congela a -5° C. Posteriormente las bolsas se descongelan y las muestras se colocan en bolsas de papel y se secan en una estufa de aire forzado a 75° C por 48 horas y finalmente se pesan en seco en una balanza de precisión.

En forma general, este método es de utilidad porque permite comparar la cantidad de biomasa real con algún otro método estimativo, no destructivo y debe ser alta la correlación entre estos. El método de corte es más exacto, sin embargo, por la disminución en el número de muestras que se pueden tomar, en la práctica es más eficiente un método indirecto, de menor exactitud pero de mayor precisión ya que al poder tomar un mayor número de muestras logra captar mayor variación en la pradera y por lo tanto es más preciso (Squella *et al.*, 1990).

Doble muestreo

Ganguli (2000) menciona que el método de doble muestreo es una buena alternativa al método de corte, ya que sólo requiere cortar la pradera en un principio y sólo el 15 % de las muestras medidas, para lograr establecer una ecuación de regresión entre la biomasa total de un determinado punto y la medida indirecta, la cual puede ser la altura de un determinado disco o una regla

medidora. Una vez que se ha establecido esta relación no es necesario realizar cortes posteriores. Este método es una opción conveniente para los productores ya que implica menos esfuerzo de recolección, por lo tanto menores costo Frame, (1993) citado por (Sanderson, 2001).

Haydock y Shaw (1975) reportaron que este método se basa en la regresión lineal simple entre las estimaciones visuales de un observador y el peso obtenido por corte, su desventaja es que se requiere de los mismos observadores y de ecuaciones específicas para cada muestreo. Este método se basa primero en cortar, secar y pesar el forraje para determinar el error en la estimación. Tiene la ventaja de la rapidez de la estimación y la precisión de los cortes, además es suficientemente rápido para muestrear grandes áreas.

Regresión lineal

El objetivo de un análisis de regresión lineal es investigar la relación estadística que existe entre una variable dependiente (Y), y una o mas variables independientes ($X_1, X_2, \dots$), los valores de Y se obtienen de varias poblaciones, cada una determinada por un valor correspondiente de X, para que la teoría probabilística sea aplicable es esencial que Y sea aleatoria.

Se utiliza la regresión lineal simple cuando solo existe una variable independiente y la relación es rectilínea. La recta se define por la siguiente fórmula: $Y = a + b X$, todo punto (X, Y) de esta recta tiene una coordenada X o abscisa y una coordenada Y u ordenada, cuyos valores satisfacen a la ecuación.

Para definir la recta hay que determinar los valores de los parámetros "a" y "b". Cuando $X = 0$, $Y = a$, se dice que "a" es el punto donde la recta corta el eje de las Y, esto es, "a" es el intercepto de Y. Cuando "a" es 0, esta pasa por el origen. Una unidad de variación en la variable X produce una variación de "b" unidades en Y, así que "b" es una medida de la pendiente de la recta. Cuando "b" es positiva, ambas variables aumentan o disminuyen juntas, si "b" es negativo, una variable aumenta cuando la otra disminuye. El parámetro "b" determina la pendiente de la recta, su grado de inclinación.

Cuando las observaciones o algunas de ellas no caen sobre la recta, esto se le atribuye al error experimental o de medida, esto impide una relación perfecta aun cuando exista una relación funcional entre las variables. La regresión lineal nos permite calcular el valor de estos dos parámetros, definiendo la recta que mejor se ajusta a esta nube de puntos.

Métodos no destructivos o indirectos

Se basan en la relación de uno o más atributos de la vegetación con el forraje disponible Bransby *et al.* (1977), citado por (Cabrera, 1997).

Los métodos de medición son de mucha utilidad para determinar momentos en que se debe iniciar y finalizar un pastoreo Green *et al.* (1989), citado por (Cabrera, 1997). Permiten tomar varias mediciones en poco tiempo, son de bajos costos y de fácil fabricación.

Disco medidor (DM)

El disco medidor (DM) es un disco de aluminio de 30cm de diámetro y 1.9cm de grosor, consiste en una vara por la cual se desliza un disco, con el fuste marcado a intervalos de 1cm (Hollstein, 1984).

El disco proporciona una medición de altura de la pradera que depende de la densidad, composición botánica, estado fenológico y el porcentaje de biomasa que presentan las muestras durante las mediciones. La densidad varía según las condiciones de humedad del terreno y al existir mayor densidad mayor es la oposición de la pradera al peso del disco (Lara, 1997).

Rayburn (1998), Unruh y Fick (1998) mencionan que trabajando con praderas del noreste de Estados Unidos, han obtenido errores de calibración de 10%, que es un rango aceptable muy adecuado, lo que justifica económicamente el uso de estas herramientas.

Bastón medidor (BM)

Diseñado en 1929, inicialmente sólo medía contenido de humedad, luego se utilizó la correlación entre este parámetro y producción de biomasa como metodología indirecta. El funcionamiento de este método se basa en que el contenido de agua del forraje permite el paso de corriente eléctrica entre 2 conductores que contiene el instrumento, así, a mayor contenido de agua mayor paso de la corriente eléctrica (Hollstein, 1984).

Sanderson (2001) menciona que este instrumento capta un área de 100mm de diámetro por 400mm de alto y puede calcular de manera automática la cantidad de biomasa disponible ya que está calibrado por el fabricante.

Plato medidor (PM)

Ganguli (2000) menciona que es un plato cuadrado de acrílico de 40*40cm con un agujero en el medio que le permite descender, el plato se deja caer hasta que toque un mínimo de 3 hojas, luego se lee la altura en la vara graduada.

Plato medidor y regla medidora permiten estimaciones de biomasa disponible de una forma rápida, sencilla, económica y con un nivel de exactitud aceptable. En cuanto a la facilidad de construcción y de uso, todos con excepción del instrumento para analizar se pueden construir con materiales sencillos, los 4 métodos son muy rápidos y cómodos de implementar Whitney (1974), citado por (Ganguli, 2000).

Factores que afectan al momento de la medición de la biomasa

Algunas razones por las cuales se produce una baja relación entre las estimaciones mediante métodos directo e indirecto se explica por medio de algunos factores como son el pisoteo por animales, la heterogeneidad en la composición de las pastizales o por el sesgos de cada observador, ya que existen diferencias entre observadores e instrumentos utilizados para medir la biomasa Aiken y Bransby (1992), Karl y Nicolson (1987), citado por (Sanderson, 2000).

Aiken y Bransby (1992) concluyen que existe variación entre observadores, por lo cual, se recomienda que una sola persona tome las mediciones o entrenar en conjunto al grupo de manera que logren realizar estimaciones más acordes entre ellos.

Rendimiento de la producción de la biomasa disponible

Todos los productos utilizados en alimentación animal pueden ser evaluados en función de sus propiedades de acuerdo al rendimiento y calidad. Por lo tanto, el rendimiento de un producto se recomienda expresarlo en unidades de materia seca, ya que un forraje puede producir gran cantidad de biomasa, pero la misma puede llegar a estar constituida por una elevada cantidad de agua (White y Tropel, 2000).

Cook (1971) menciona que las especies arbustivas de los ecosistemas áridos ofrecen una amplia variedad de recursos susceptibles a explotarse; entre ellos, el aprovechamiento de la biomasa de cada especie que es un factor muy importante para la producción animal.

Perdomos (1991) menciona que las especies arbustivas producen más biomasa, toleran mejor el mal manejo y tienen la capacidad de rebrotar y ofrecer forraje de buena calidad en localidades con sequías prolongadas.

Bernal (1986) menciona que para obtener una mayor cantidad y calidad de las plantas forrajeras es importante tener en cuenta el medio ambiente, la

especie y el manejo. Entre los factores del medio ambiente que tienen mayor influencia sobre la producción de forraje está: el suelo, la precipitación y la temperatura. En lo que respecta a la especie, esta debe estar bien adaptada a las condiciones del medio ambiente, ser productiva y poseer buenas características agronómicas como alta relación hoja/tallo y una rápida recuperación después del corte o pastoreo.

Cada especie tiene distinto ritmo de crecimiento a través de las estaciones climáticas debido a las características genéticas y fisiológicas propias de cada planta Teuber y Bernier (1977), citado por (Bitsch, 1981).

Fotografía digital

La fotografía digital existe desde hace varias décadas. De hecho durante los primeros vuelos de naves rusas y norteamericanas a la luna en los años sesenta, la transmisión de imágenes se hacía utilizando esta tecnología. En el sentido moderno, iniciada la década de los noventa se generalizó. Su aceptación por parte de un amplio grupo de fotógrafos profesionales está siendo muy precipitada, durante este siglo, se dice que ésta será la tecnología mas utilizada en la práctica total de aplicaciones fotográficas (Iker Moran., 2005).

Cámara digital

En 1969 el año que marca el inicio de la cámara digital (Willard Boyle y George Smith) mencionan que dentro de las cámaras digitales de tipo profesional, la tendencia de casi todos los fabricantes consiste en reutilizar los componentes clásicos de una cámara de gran formato, que permita que las imágenes se almacenen directamente en formato digital sobre un fichero procesable informativamente. Otro tipo de cámara es en la que la foto queda almacenada en un disquete pasando directamente al ordenador para su visualización y proceso mediante una computadora.

Tecnología digital

Una imagen digital se caracteriza por poder ser representada mediante una serie de dígitos binarios ceros y unos, es decir, cualquier imagen que esta almacenada en un fichero esta formado por una larga colección del siguiente tipo: 001011010011110101000100101 que representa tanto su intensidad luminosa como su color (<http://www.interlink.es/peraso/senib/senib1.htm>).

Resolución de la imagen

La resolución de imagen se define como el número de píxeles mostrados en la imagen por unidades de longitud. Normalmente se mide en píxeles por pulgada. Píxel significa en inglés Picture Element (elemento gráfico). Las fotografías digitales están compuestas de miles o millones de ellos; son los

elementos constitutivos de las imágenes digitales
(<http://www.interlink.es/peraso/senib/senib1.htm>).

Formato para almacenar una imagen

El JPEG (Join Photographic Expert Group) es un formato que está diseñado para la comprensión de imágenes fotográficas. Es un formato de 8 bits en escala de grises y 24 bits en color, con alta comprensión y pérdida variable. Estándar para la representación de imágenes en colores grises. JPEG intenta eliminar la información que el ojo humano no es capaz de distinguir (Macintosh, 1984).

Modos y modelos de color

El programa Photoshop, determina el modelo de color utilizado para visualizar e imprimir una imagen. Estos modos se basan en los modelos de color para la descripción y reproducción de colores. Los modelos más comunes son HSB (tono, saturación, brillo), RGB (rojo, verde, azul). El modelo RGB asigna un valor de intensidad a cada píxel. Si el valor de todos los componentes es de 255, el resultado será blanco puro y negro puro si todos los componentes tienen un valor 0 (<http://www.interlink.es/peraso/senib/senib1.htm>).

Histograma

En el programa de photoshop encontramos la paleta histograma que es una grafica que representa los niveles de tono de una imagen digital. El histograma nos muestra una serie de 255 líneas verticales alineadas en su extremo inferior, representativas de la cantidad de píxeles que hay en una imagen por cada valor de luminosidad. En el extremo izquierdo está el valor 0 (negro) y en el derecho el 255 (blanco). En Photoshop, los datos numéricos aparecen en dos columnas: en la primera, datos de la imagen en conjunto, y en la de la derecha, información específica sobre el nivel que señale el cursor sobre el gráfico. Si los píxeles están amontonados hacia la izquierda, significa que predominan los tonos oscuros y si la mayoría de los píxeles están a la derecha, predominan los tonos claros (<http://www.quesabesde.com/camdig/articulos.asp?articulo=117>)

Teoría del color

Newton (1642-1727) primero y Young (1773-1829) después establecieron un principio que hoy nadie discute: la luz es color. Para llegar a este convencimiento, Isaac Newton se encerró en una habitación a oscuras, dejando pasar un hilillo de luz por la ventana y poniendo un cristal, un prisma de base triangular frente a ese rayo de luz; el resultado fue que dicho cristal descompuso la luz exterior blanca en los seis colores del espectro, los cuales se hicieron visibles al incidir sobre una pared cercana.

Años más tarde, el físico inglés Thomas Young realizó el experimento a la inversa. En primer lugar determinó por investigación que los seis colores del espectro pueden quedar reducidos a tres colores básicos: el verde, el rojo y el azul intenso. Tomó entonces tres linternas y proyectó tres haces de luz a través de filtros de los colores mencionados, haciéndolos coincidir en un mismo espacio; los haces verde, rojo y azul se convirtieron en luz blanca, es decir, Thomas recompuso la luz (<http://akvis.com/es/articles/ciencia-luz-color/mezcla-colores.php>)

Maxwell y Hertz (1978) mencionan que la luz blanca, esa luz que nos rodea, está formada por luz de seis colores; y cuando incide en algún cuerpo éste absorbe dichos colores y refleja otros. Esto da lugar al siguiente principio: Todos los cuerpos opacos, al ser iluminados, reflejan todos o parte de los componentes de la luz que reciben.

Existen dos tipos de colores, el color luz y el color materia. El color luz es inmaterial proveniente del sol o proyectores artificiales, aunque se toma como referencia el proveniente del sol al mediodía y el color materia también llamado colores pigmento, que es la luz inmaterial la que refleja sobre las cosas que vemos (<http://akvis.com/es/articles/ciencia-luz-color/mezcla-colores.php>).

Aplicación de fotografía digital

Índices de vegetación

Rouse *et al.* 1975 mencionan que los índices de vegetación se miden en el rango de 1 a -1, los valores negativos representan áreas sin vegetación y los positivos sitios con vegetación, mientras más alto sea el valor positivo más vegetación hay. Un valor de índice de vegetación de cero quiere decir que no hay vegetación verde y cerca de +1 indica la densidad posible más alta de hojas verdes (Boone *et al.* 2000, Chen 1998).

El empleo del índice de vegetación ha tenido un gran impulso para abordar los cambios en la vegetación, pues permite conocer el estado de vigor vegetal (Granados *et al.*, 1996).

Los índices de vegetación, son una medida de la proporción de cobertura vegetal en un área determinada. Son combinaciones de bandas espectrales, cuya función es realzar la contribución de la vegetación en función de la respuesta espectral de una superficie y atenuar la de otros factores como suelo, iluminación, atmósfera (Jackson *et al.*, 1983).

Tucker, (1985) indica que los índices de vegetación están diseñados para proveer una comparación permanente y consistente de los cambios temporales y espaciales de la vegetación, al responder a la cantidad de vegetación fotosintéticamente activa en determinado píxel.

Por otra parte Jackson *et al.* (1983) reportan que las plantas reflejan la luz en longitudes de ondas en verde, de ahí su color infrarrojo cercano y absorben luz en regiones del rojo y del azul. De acuerdo a la proporción de luz reflejada en cada longitud de ondas podemos estimar la biomasa, el área foliar y el contenido de clorofila de la vegetación.

Bannari *et al.* (1995) mencionan que los índices de vegetación restringiéndolos a combinaciones de 2 bandas, solamente el color rojo esta fuertemente correlacionada con el contenido en clorofila y la infrarroja con el índice de la superficie foliar y la densidad de vegetación verde.

El Índice de Vegetación produce un nuevo tema en escala de grises que ilumina claramente la vegetación en una imagen. La vegetación es particularmente reflectiva en el infrarrojo cercano. El contraste entre la vegetación y el agua es también aparente en esta región del espectro. En la banda del rojo visible la vegetación tiende a ser más oscura que las zonas erosionadas y que las construcciones que tienden a ser blancas o iluminadas. Usando estas dos porciones del espectro el Índice de Vegetación es capaz de discriminar claramente áreas con vegetación (ESRI, 1999).

En las ciencias forestales y de pastizales, a menudo existe la necesidad de hacer un muestreo e inventariar la vegetación natural. Los métodos convencionales que utilizan una interpretación manual de fotografía aérea, delineando áreas de vegetación homogénea llamados patrones usan atributos como el tono, la textura de la imagen y la topografía. Estos procesos, sin embargo

debido a que están basados en un proceso manual de fotointerpretación, son costosos y consumen mucho tiempo (Franklin *et al.*, 1986).

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El presente trabajo de investigación se realizó durante el ciclo otoño-invierno del 2004, en el rancho “El pato” el cual cuenta con una superficie aproximada de 6,000 hectáreas, se localiza en el Municipio de Muzquiz, sobre la carretera Muzquiz – Boquillas en el kilómetro 40, en las coordenadas 27° 54’ 43” de latitud norte y 101° 31’ 2” de longitud al oeste del meridiano de Greenwich. A una altura de 490 metros sobre el nivel del mar.

Clima

El área se caracteriza por su clima semiseco la mayor parte del año, las lluvias son de primavera - verano. La precipitación media anual es de 400 a 500 milímetros, principalmente en los meses de junio, julio, agosto, septiembre y octubre, escasos en noviembre, diciembre, enero y febrero; los vientos predominantes son de dirección noroeste con una velocidad de 10 km/hr. La frecuencia de heladas es de 0 a 20 días y granizadas de 0 a 1 día.

Suelo

Los suelos predominantes son los vertisoles que presentan grietas anchas y profundas en la época de sequía, es un suelo muy duro, arcilloso y masivo, de color negro, gris y rojizo, su susceptibilidad a la erosión es baja. La mayor parte del suelo de este municipio es destinado a la ganadería y muy poca a la producción agrícola y al área urbana.

Vegetación

El tipo de vegetación en el rancho corresponde al Matorral Espinoso Tamaulipeco. La vegetación esta formada por un conjunto de arbustos medianos de 1 a 2 metros de altura aproximadamente. Las especies que imperan en esta comunidad vegetal son: guajillo (*Acacia berlandieri*), cenizo (*Leucophyllum texanum*), chaparro prieto (*Acacia rigidula*), mezquite (*Prosopis glandulosa*), huzache (*Acacia farnesiana*) y gatuño (*Acacia greggii*).

Dentro de esta vegetación también encontramos otras especies con un alto valor forrajero y nutricional para el ganado como son: Zacate rizado (*Panicum halli*), Zacate banderita (*Bouteloua curtipendula*) y Toboso (*Hilaria mutica*). Este tipo de vegetación esta caracterizada por un amplio rango de patrones de crecimiento, diversidad en la longevidad foliar, dinámicas de crecimiento y desarrollo fenológico.

Adicionalmente las plantas nativas del matorral espinoso han desarrollado diversas características morfológicas y fisiológicas apropiadas la adaptación a factores ambientales adversos, particularmente al estrés por sequías y altas temperaturas.

El principal aprovechamiento de la vegetación es por la ganadería, en la producción de bovino de carne en sistema vaca becerro bajo pastoreo, y la explotación de fauna silvestre como el venado. La densidad de plantas arbustivas limita alguna otra actividad agropecuaria, ya que es difícil el movimiento y manejo del ganado.

Metodología experimental

Dentro del Rancho se tomaron 47 muestras de arbustivas al azar en diferentes sitios, buscando variabilidad entre muestras, es decir, lugares con mucha y poca vegetación. A cada una de las muestras se les tomaron 2 fotografías. Posteriormente, el material vegetal fue cortado y colocado en bolsas de papel. El material fue separado en componentes del rendimiento en el laboratorio, cada componente del rendimiento (tallo, hoja) se volvieron a colocar en bolsas individuales por muestra y se secaron en una estufa de aire forzado a 60° C por 72 horas. Al concluir el tiempo de secado se pesaron.

Los datos obtenidos de los pesos fueron Biomasa total sobre el suelo (BT), Forraje (F) y Tallo (T), los cuales se utilizaron como variables respuesta o dependientes.

Método de la fotografía digital

Toma de fotos

La toma de fotos fue de 7 a 9 de la mañana esto fue con el fin de evitar los rayos del sol al momento de tomar la fotografía, detrás del arbusto se colocó una manta blanca de $3 \times 3 \text{ m}^2$ para eliminar el factor de sombras y otros colores de plantas cercanas o simplemente de las que se encuentran detrás de la muestra seleccionada, además de que las fotografías salen mas claras y no tienen reflejos del mismo, debido a que el trabajo de análisis se basa en conteo de píxeles y también para delimitar simplemente el área a fotografiar. Se tomaron dos fotografías de cada arbusto obteniendo un total de 94 fotografías.

En cada sitio de muestreo se midió una distancia de 7 m entre la manta blanca y la cámara digital. La cámara se colocó a 0.5 m de altura, frente a la manta blanca y sin inclinación (paralelo al suelo).

Tratamiento a las fotografías

La medida de la fotografía tomada en campo fue de $1,280 \times 960$ píxeles dando un total de 1, 228,800 píxeles. En centímetros fue de $6.4 \times 4.8 \text{ cm}$ dando un total de 30.72 cm^2 . Fotografía (A)

Las fotografías de cada arbusto fueron tratadas en el programa Paint Shop versión 8.0 para ser recortadas a partir de las siguientes medidas: parte superior de la foto 200, derecho 1000, inferior 900, izquierdo 100 dando un total de

640,000 píxeles. Los criterios tomados anteriormente fueron con la finalidad de tener solamente la parte que abarca el arbusto y la manta blanca que son los componentes más importantes a considerar al momento del conteo de píxeles.

Fotografía (b)

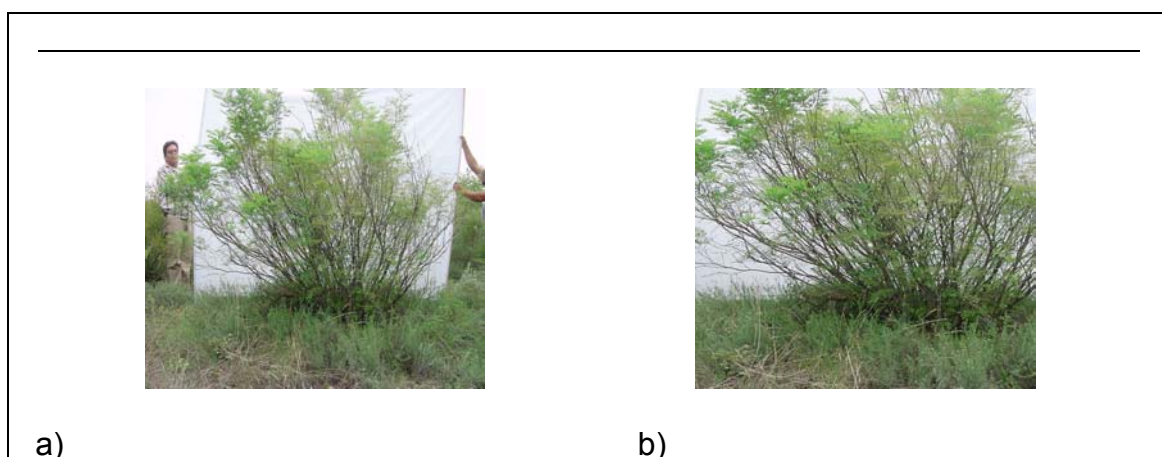


Figura 1. Comparación de fotografías. a) Fotografía original; b) fotografía recortada.

Cuadro 1. Datos obtenidos de la fotografía recortada b

Color	Tonalidad	Rango (bits)	% píxeles
GRIS (L)	Negro	0 a 50	4.58
	Gris oscuro	51 a 100	25.36546888
	Gris	101 a 151	35.67
	Gris claro	151 a 200	46.29
	blanco	201 a 255	15.4607813

Las fotos recortadas fueron medidas en el programa Adobe Photoshop 7.0 en donde se realiza el conteo de píxeles en las cuatro tonalidades, Rojo (R), Verde (V), Azul (A) y Gris (L). En este programa encontramos la paleta histograma que es una grafica que representa los niveles de tono de la imagen,

muestra la manera en la que los píxeles están distribuidos, graficando la cantidad de píxeles de cada uno de los 255 niveles de iluminación de una imagen.

Para el conteo de píxeles en las 4 tonalidad se tomaron los siguientes criterios (Cuadro 2), con los datos obtenidos se creo la base de datos para correlacionar los pesos de las muestras y el numero de píxeles para estimar biomasa total presente en cada fotografía.

Cuadro 2. Rangos considerados para las 4 tonalidades.

Color	Tonalidad	Rango (bits)
ROJO (R)	Negro	0 - 50
	Rojo oscuro	51 -100
	Rojo	101 -151
	Rojo claro	151 - 200
	Blanco	201 - 255
VERDE (V)	Negro	0 - 50
	Verde oscuro	51 -100
	Verde	101 -151
	Verde claro	151 - 200
	Blanco	201 - 255
AZUL (A)	Negro	0 - 50
	Azul oscuro	51 -100
	Azul	101 -151
	Azul claro	151 - 200
	Blanco	201 - 255
GRIS (L)	Negro	0 - 50
	Gris oscuro	51 -100
	Gris	101 -151
	Gris claro	151 - 200
	Blanco	201 - 255

Obtención del modelo

Se generó una matriz de 23 columnas (variables) X 94 renglones (observaciones). Las variables se componen de 3 variables dependientes: Biomasa total (BT), Forraje (F) y Tallo (T) y 20 independientes, que corresponden a 4 colores: Rojo (R), Verde (V), Azul (A), Gris (L); cada uno con 5 tonos.

El paso inicial fue obtener una matriz de correlaciones de todas las variables; después se seleccionaron las variables más relacionadas con las variables dependientes y se obtuvieron sus modelos de ajuste. Por observación de diagramas de dispersión se definió que modelos eran lineales y cuales no lineales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de correlación

De las variables independientes los tonos Rojos (R) y Azul (A) no obtuvieron coeficientes de correlación significativos con las variables dependientes; en cambio, los tonos Verde (V) y Gris (L) presentaron mayores coeficientes de correlación (apéndice A).

El análisis de correlación lineal mostró los siguientes resultados para la variable independiente con mayores coeficientes de correlación (Cuadro 3).

Cuadro 3. Resultados encontrados en el análisis de correlación lineal.

Variable independiente	Biomasa total	Forraje	Tallo
Gris claro (L4)	0.80	0.57	0.77

En este método se consideró la tonalidad gris, ya que lo que se está buscando estimar, es la cantidad de biomasa total sobre el suelo y esta tonalidad representa la manta blanca que se colocó tras la vegetación.

Por otra parte la tonalidad verde también presentó una relación positiva pero no se contempló porque el color de la planta varía de acuerdo al lugar en donde es realizado el estudio ya que la planta no refleja la misma cantidad de luz y por lo tanto la cantidad de píxeles contenida en cada fotografía es muy variable. Es decir, que la cantidad de biomasa vegetal cambia constantemente debido a que las plantas tienen un crecimiento que varía de acuerdo a la estación del año.

Obtención de los modelos

Como se vio, los mejores ajustes se obtuvieron con los grises claros y verdes claros, pero considerando que los grises representan a la manta blanca, pueden ser menos variables entre tipos de vegetación o sitios de muestreo, se decidió utilizar a estos como los mejores predictores.

En la Figura 2 se puede observar la relación entre el porcentaje en gris claro y Biomasa total sobre el suelo para lo cual se utilizó un modelo logístico que es el siguiente:

$$\text{Biomasa Total} = 39707 + (-22741.13) * \log_{10} (\% \text{ de píxeles en gris claro})$$

En la Figura 2 se muestran los valores estimados por el modelo, los cuales se ajustan a la curva determinada mediante este. La relación nos muestra que entre mayor porcentaje de píxeles en esta tonalidad menor es la cantidad de biomasa total sobre el suelo ($r=0.80$).

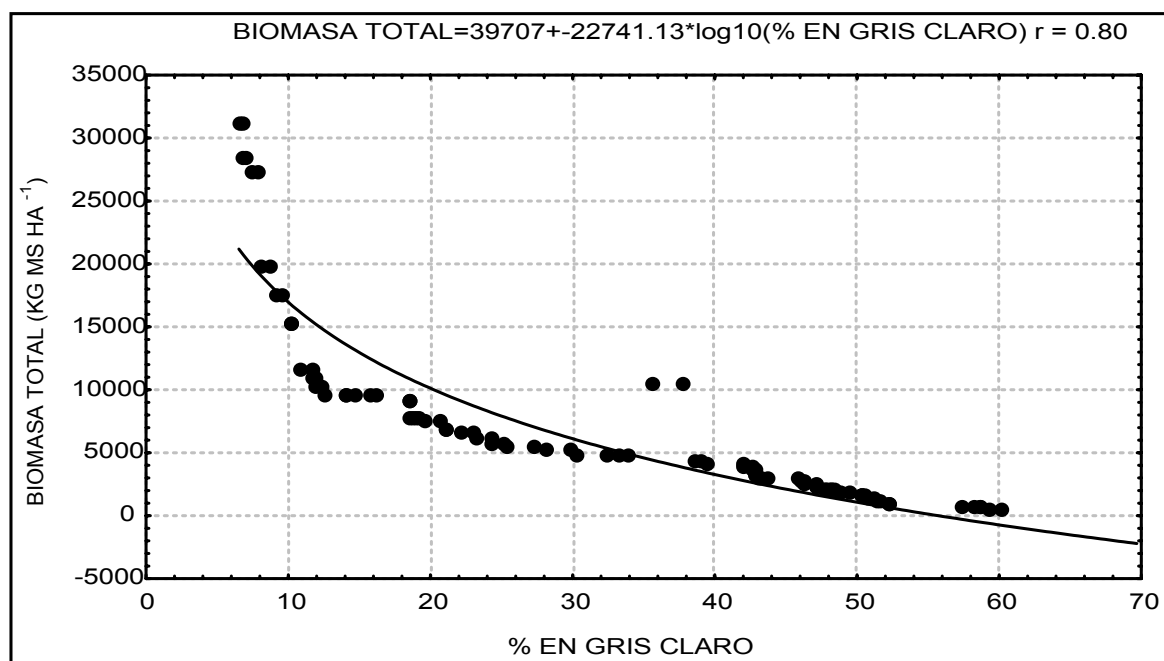


Figura 2. Relación entre el porcentaje en gris claro y la biomasa total sobre el suelo.

En la Figura 3 se puede observar la relación entre el porcentaje en gris claro y la cantidad de forraje el cual es un modelo lineal.

$$\text{Forraje} = 2193.77 - 23.45 (\% \text{ de píxeles en gris claro})$$

La relación nos muestra que entre mayor sea la cantidad de píxeles en gris claro, menor es la cantidad de forraje ($r = 0.57$).

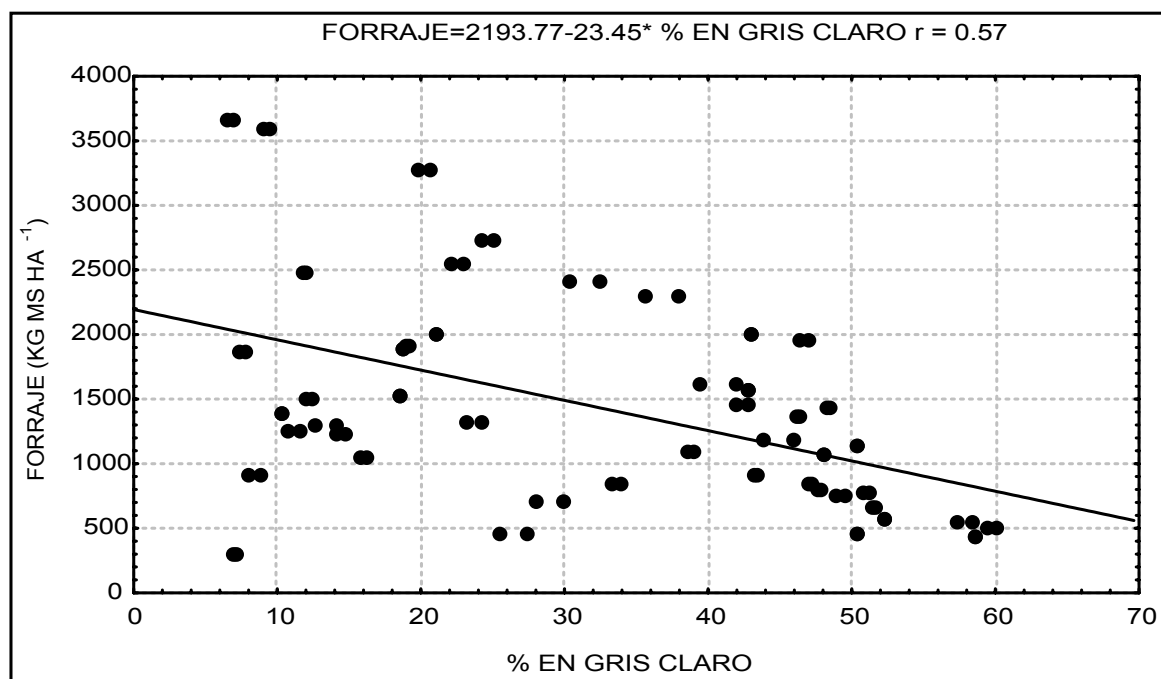


Figura 3. Relación entre el porcentaje en gris claro y forraje.

La Figura 4 muestra la relación entre el porcentaje en gris claro y la materia seca de los tallos para lo cual se utilizó el mismo modelo logístico:

$$\text{Tallo} = 2193.77 + (-23.45) * \log_{10} (\% \text{ de píxeles en gris claro})$$

La Figura 4 muestra el modelo con mejor ajuste a los valores observados de la relación de píxeles gris claro y peso de los tallos. La relación nos muestra que entre mayor sea la cantidad de píxeles en esta tonalidad, menor es la cantidad de materia seca de tallos ($r = 0.77$), es decir las tonalidades en gris claro están inversamente relacionadas con la presencia de materia seca total de tallos (kg MS/ha).

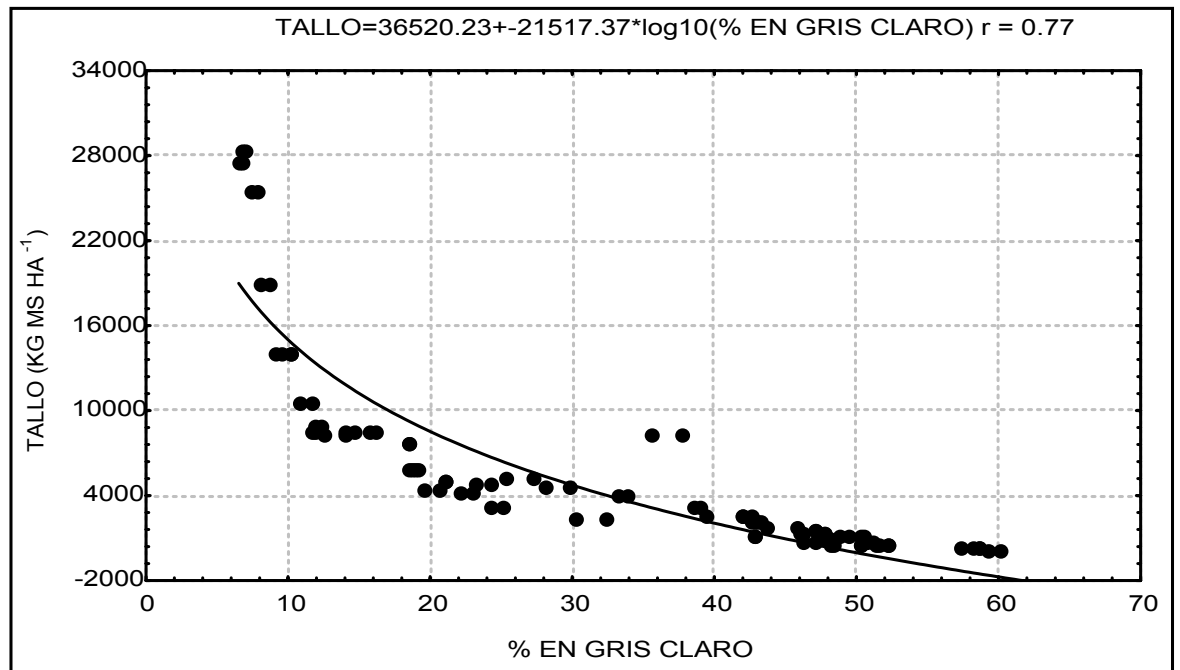


Figura 4. Relación entre el porcentaje en gris claro y materia seca de tallos (kg MS/ha).

Esto coincide con lo reportado por Rouse et al. (1975) quienes mencionan que los índices de vegetación se miden en el rango de 1 a -1, los valores negativos representan áreas sin vegetación y los positivos sitios con vegetación, mientras más alto sea el valor positivo más vegetación hay. Un valor con índice de vegetación cero quiere decir que no hay vegetación verde y cerca de +1 indica una densidad más alta de hojas verdes (Boone et al. 2000, Chen 1998).

Cook y Stubbendieck (1986) mencionan que el peso del forraje o producción de biomasa aérea, es una de las variables más importantes desde el punto de vista económico, donde el crecimiento de la planta puede ser la mejor forma de medir el incremento vegetativo. Como el contenido de humedad varía entre las plantas, usualmente el peso se debe expresar en base a la materia seca, ya que un forraje puede producir gran cantidad de materia verde, pero la misma puede llegar a estar constituida por una elevada cantidad de agua.

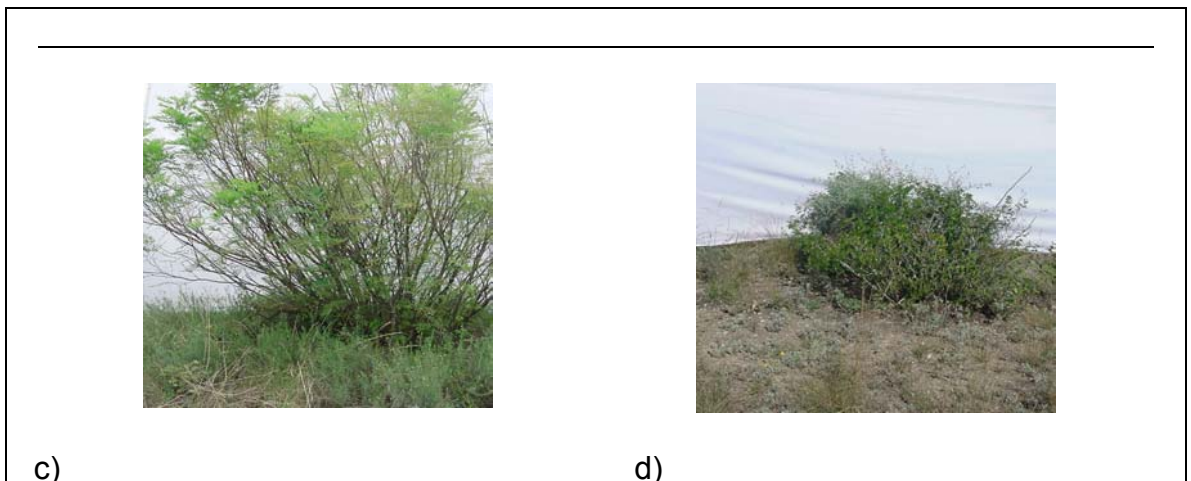


Figura 5. Ejemplos de diferentes fotografías. c) mayor cantidad de biomasa; d) menor cantidad de biomasa.

Utilización del modelo logístico para la obtención de biomasa presente en las fotografías

$$c) \text{ Biomasa Total} = 39707 + (-22741.13) * \log_{10} (6.53) = 21174.95 \text{ kg MS /ha}$$

$$d) \text{ Biomasa Total} = 39707 + (-22741.13) * \log_{10} (48.03) = 1467.5036 \text{ kg MS /ha}$$

Modelo lineal utilizado para obtener la cantidad de forraje presente en cada fotografías

$$c) \text{ Forraje} = 2193.77 - 23.45 (6.53) = 204.6415 \text{ kg MS /ha}$$

$$d) \text{ Forraje} = 2193.77 - 23.45 (48.03) = 1067.46 \text{ kg MS /ha}$$

Se utilizo el mismo modelo logístico para la obtener la cantidad de materia seca de tallos.

$$c) \text{ Tallo} = 36520.23 - 21517 * \log_{10} (6.53) = 18985.44 \text{ kg MS /ha}$$

$$d) \text{ Tallo} = 36520.23 - 23.45 * \log_{10} (48.03) = 338.50 \text{ kg MS /ha}$$

Los resultados anteriores, indican que existe potencial para el uso de la fotografía digital en estudios de vegetación. Los métodos tradicionales de corte y

pesado de cada una de las muestras, además de ser muy costosos, destruyen la vegetación y se causa un mayor disturbio en los sitios donde se muestrea.

La menor relación encontrada para la cantidad de forraje presente, se pudo deber a la baja proporción de la hoja con relación a los tallos. Si esta es la causa, se requiere de un mayor tamaño de muestra y mayor precisión en la colecta de las muestras, en la separación manual, en el manejo de las muestras y en el pesado.

CONCLUSIONES

El color más adecuado a utilizar para este método es el color gris claro ya que representa a la manta blanca y tiene una relación inversa con el peso de la biomasa. Otra ventaja de esta tonalidad es que se considera menos variable al cambiar de tipos de vegetación donde los tonos verdes pueden afectar las estimaciones.

La relación encontrada en los porcentajes de píxeles en la tonalidad en gris claro tuvo una alta relación con la cantidad de biomasa total sobre el suelo ($r = 0.80$), quiere decir que entre mayor porcentaje de píxeles observados en la fotografía, en la tonalidad de gris claro habrá menor cantidad de biomasa sobre el suelo. Con relación a la cantidad de forraje el resultado encontrado fue muy bajo ($r = 0.57$), esto se debe a la baja proporción de hojas con relación a los tallos.

Por otra parte la relación encontrada con materia seca de los tallos fue ($r = 0.77$) esto se debe a que las especie arbustivas están compuestas en su mayor parte de tallos, por lo tanto entre mayor sea la cantidad de píxeles observados menor será la cantidad de materia seca presente.

La fotografía digital es un método que con algunos ajustes en los muestreos, puede ser muy eficiente en términos de costo y precisión, para la estimación de atributos de la vegetación, en grandes superficies.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en el rancho ganadero “El Pato” que se localiza en el Municipio de Muzquiz, Coahuila. El objetivo fue desarrollar un nuevo método para la estimación de biomasa en arbustivas por medio de fotografía digital. El trabajo de campo consistió en dos muestreos en las cuales se ubicaron al azar 47 arbustos en diferentes sitios, detrás de cada muestra se colocó una manta blanca para delimitar el área a fotografiar, se le tomaron 2 fotografías a cada muestra obteniendo un total de 94 fotografías.

Las fotografías fueron tratadas en el programa Adobe Photoshop en donde se realizó el conteo de píxeles en las 4 tonalidades Rojo (R), Verde (V), Azul (A) y Gris (G). Con estos datos se creó una base de datos para correlacionarlos con los pesos de las muestras.

Se generó una matriz de 23 variables x 94 observaciones. Las variables evaluadas fueron Biomasa Total (BT), Forraje (F) y Tallo (T) las cuales fueron utilizadas como variables dependientes y 20 independientes que corresponden a los 4 colores y cada uno con las 5 tonalidades, obteniendo una matriz de correlación de todas las variables. Se observó que los mejores ajustes se obtuvieron con la tonalidad en gris claro. Por lo que se concluye que el gris claro por representar la manta blanca. Además de ser menos variable entre tipos de vegetación o muestreo se decidió utilizar este como el mejor predictor de biomasa.

LITERATURA CITADA

- Bentran, E.1964. Las zonas áridas del centro y noreste de México y el aprovechamiento de sus recursos. Ed. I,M,R.N.R, México. pag.65.
- Bennari A., Morin D.,Bonn F., Huete A.,1995. A revuew of vegetation indices Remote Sensing Review, 35, Pp. 161-173.
- Cabrera, O. 1997. Efecto de la suplementación en épocas críticas sobre el comportamiento de ovinos en el secano costero de la VI Región. Santiago, Chile. 125p.
- Cook, C. W, 1971. Comparative nutritive values of forbs, grasses and shrubs. En McKell CM, Blaidell JP, Goodin JR (Eds.) *Wildlands shrubs, their biology and utilization*.General Technical Report INT-1.USDA Forest Service.Utah State University, Logan, Utah. EEUU. pp. 303-310.
- Dyksterhuis, E.J.1955. What israngemanagement? J. Range Manage. 8:193-196.USA.
- Duch G., J., A. Boyena C.,C. Labra L. y A. Gama V. 1992. Sistemas de evaluación de tierras para la determinación del uso potencial agropecuario y forestal en México. Rev. De Geografía agrícola. Análisis regional de la agricultura. P. 21-46.
- ESRI, Inc.1998. Using Arcview Image Analysis.Environmental Systems Research Institute, Redlands, California.
- Franklin,J.T.L. Logan, C.E. Woodcock and A.H. Strahler 1986. Coniferus forest classification and Inventory using Landsat and Digital Terrain data.IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. Vol. GE-24, No. 1, pp. 139-149.
- Ganguli, A. et al. 2000. Comparison of four nondestructive Techniques for Estimating Standing Crop in short grass plains. En: Agronomy Journal 92: 1211- 1215.
- Granados, R., T. Reyna y G. Gómez. 1996. La teledetección en el seguimiento de las superficies cultivadas de la Mesa del Centro de Guanajuato. pp. 27. *In: Resúmenes de la VII Reunión Nacional Selper*. Colima, México. Sensing 56: 1143-1146
- Hardin, G. 1968. The tragedy of the commons. Science 162: 1243-1248.
- Haydock, N.P. y Shaw, N. H. 1975. The comparative yield mothd for estimating dry matter yield of pasture. Aust. J. Agric. Anim. Husbo. 15:663.

- Huss,D.L.y E,L,Aguirre.1979. Fundamentos de manejo de pastizales.ITEM,Monterrey,N,L., México.
- Houston JE, Rector BS, Merrill L, Enghdl BS (1981) *Nutritional Values of Range Plants in the Edwards Plateau Region of Texas*. Texas Agricultural Experiment Station. Texas. EEUU. 16 pp.
- Hollstein. J.1984). Comparative Contribution of Grasses, Forbs and Scrubs to the Nutrition of Range Ungulates. *Rangelands* 6:6.
- Humphrey, R.R.1962. Range ecology. The Ronald Press Co.NewYork.
- Ibarra, H. Vásquez, R., Mora, A. & Nava, G. 1998. Range ecosystems in northeast Mexico and south Texas. Workshop Proceedings. Management of grazinglands in northern. Mexico and south Texas. June 25-26. Texas A&M International University, Laredo Texas.
- Jackson, R. D. y A. R. Huete. 1983. Interpreting vegetation index preventive veterinary medicine. 11: 185-200.
- Knight, R.W. 1999. Water conservation on grazinglands. Proceedings. Conservation and use of natural resources and marketing of beef cattle. January 27-29. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, Nuevo León, México.
- Lara, N. 1997. Evaluación de la pradera natural y la suplementación en períodos críticos sobre la producción ovina de la VI R. Universidad Católica de Valparaíso.
- Martínez, M. L Y L. J. Maldonado, 1973. Importancia de las zonas áridas en el desarrollo general del país. Vol. técnico PRONASE- SAG. Mexico.
- Mckell, C.M. 1975. Shrubs and forbs for improvement of rangelands. Improved range plants. SRM. Range Symposium series. No. 1. pp 63-73.
- Medina T., J.G.,R.Armijo T. y V. Blanca I.1985. Plantación regional de los recursos naturales de zonas áridas. Revista Agraria. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo Coah., México. P.206-220.
- Rzedowski ., 1978. Vegetación de México ed. Limusa. 432 pp.
- Robles, A. B. 1990. Evaluación de la oferta forrajera y capacidad sustentadora de un agrosistema semiárido en el Sudeste Ibérico. Tesis Doctoral. Universidad de. Granada, Granada.
- Rayburn, E. et al. 1998. A standarized Plate meter for estimating pasture Mass in on farm research trials. En: Agronomy Journal 90: 238-241 pp.
- Sampson,A.W.1952.Rangemanagement:Principlesandpractices.Wiley.NY.,USA. 570p

- Sanderson, M. et al. 2001. Estimating forage mass with a commercial Capacitance Meter, Rising Plate Meter and Pasture Ruler. En: Agronomy Journal 93: 1281-1286 pp.
- Squella, F y C. OVALLE. 1990. Praderas naturales de la zona mediterránea. En: Praderas para Chile. 734 pp.
- Society for Range Management. 1989. A glossary of terms used in range management. 3rd Edition. Society for Range Management, Denver, Co.
- Stoddart, L. A., A. D. Smith y T.W.Box. 1975. Range Management. Mc Graw - Hill Book Company.
- Stuth, J. W. y B. G. Lyons (Eds). 1993. Decision Support Systems for the management of grazing lands. The Parthenon Publishing Co.
- Tucker, C.J., J.R. Townshend y T.E. Goff. 1985. African land-cover classification using satellite data. Science 227:369-375.
- Teng, W.L. 1990. AVHRR monitoring of US crops during the 1988 drought. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 56: 1143-1146
- Whittaker R.H. 1966. Forest dimensions and production in the Great Smoky Mountains. *Ecology* 43: 357-377.
- Whittaker, R.H 1970. *Communities and ecosystems*. MacMillan. Londres. Inglaterra. pp. 60-183.
- Williams, R. S, B. W. Allred, R. M. Denio y H. A. Paulsen Jr. 1973. Conservación, desarrollo y uso de los pastizales en el mundo. En: Gonzales, M. H. Y R. S. Campbell (Eds.). Rendimiento del pastizal. Ed. Pax. México.
- White, D. and T.R Troxel. 2000. (S/F). Balance entre la producción y demanda de forraje de los pastizales. Tex. Agri. Serv. Sys. E-96S 6-01.
- <http://www.interlink.es/peraso/senib/senib1.htm>. Consultado el 2 junio
- <http://akvis.com/es/articles/ciencia-luz-color/mezcla-colores.php>. Consultado el 2 julio
- www.inta.gov.ar/balcarce/actividad/capacita/pa2004/dispforraj.htm. Consultado 12 de agosto.
- <http://franniето.iespana.es/franniето/cursos/imagen%20digital/imagen%20digital.htm>. Consultado 29 de agosto.

Apéndice (A)

Coeficientes de correlación de las 4 tonalidades						
Variables	Tonalidad	Negro	Rojo oscuro	rojo	Rojo claro	Blanco
Biomasa	Rojo (R)	0.16	-0.14	0.04	0.22	-0.27
Forraje		-0.04	-0.02	0.15	0.01	-0.10
Tallo		0.17	-0.14	0.02	0.23	-0.26

Variables	Tonalidad	Negro	Verde oscuro	Verde	Verde claro	Blanco
Biomasa	Verde (V)	0.15	-0.11	-0.49	0.76	-0.60
Forraje		0.21	-0.17	-0.10	0.46	-0.49
Tallo		0.13	-0.10	-0.49	0.74	-0.56

Variables	Tonalidad	Negro	Azul oscuro	Azul	Azul claro	Blanco
Biomasa	Azul (A)	0.38	-0.33	-0.02	0.26	-0.26
Forraje		0.14	-0.20	0.09	0.08	-0.11
Tallo		0.37	-0.32	-0.03	0.26	-0.26

Variables	Tonalidad	Negro	Gris oscuro	Gris	Gris claro	Blanco
Biomasa	Gris (L)	0.15	-0.24	-0.45	-0.80	-0.57
Forraje		0.12	-0.23	-0.10	-0.57	-0.43
Tallo		0.14	-0.22	-0.45	-0.77	-0.54