

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

PROGRAMA DE GRADUADOS



**CONTROL QUIMICO DE Flourensia cernua D. C. EN
EL PASTIZAL MEDIANO ABIERTO**

P O R :

OSCAR EDUARDO CAVAZOS CADENA

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS
ESPECIALIDAD DE MANEJO DE PASTIZALES**

BUENAVISTA, SALTILLO, COAH. MEXICO

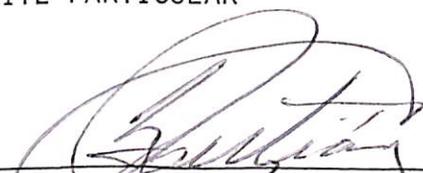
JUNIO DE 1984

Tesis elaborada bajo la supervisión del Comité Particular de asesoría y aprobada como requisito parcial, para optar al grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS ESPECIALIDAD DE MANEJO DE PASTIZALES

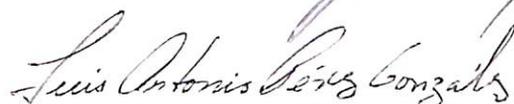
COMITE PARTICULAR

Asesor Principal:



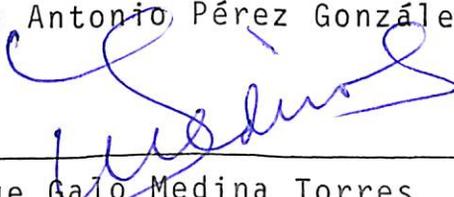
~~Ing. M.S. Julián Gutiérrez Castillo~~

Asesor:



Dr. Luis Antonio Pérez González

Asesor:



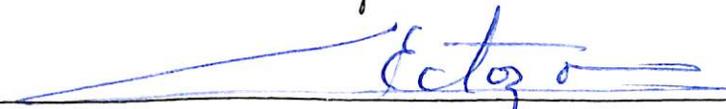
Dr. Jorge Galo Medina Torres

Asesor:



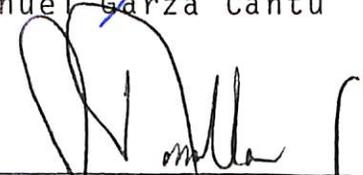
Ing. M.C. Arturo Coronado Leza

Asesor:

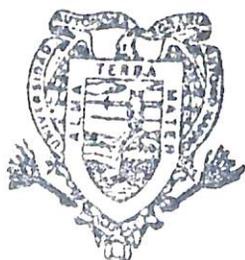


Ing. M.C. Héctor Manuel Garza Cantú

Subdirector de Postgrado:



Dr. Jesús Torralba Elguezabal



Buenavista, Saltillo, Coahuila

DEDICATORIA

Con todo mi amor a:

 Mi esposa Josefina y nuestro futuro hijo

A mis padres:

 Minerva Esthela y Horacio Cavazos

 Que con su ejemplo de trabajo, cariño y bondad me supieron dar un espíritu de superación.

A mis suegros, con el cariño que merecen:

 Magdaleno Hernández y Ma. de la Paz González

 Por el apoyo y confianza que me brindaron durante el transcurso de mis estudios.

A mis hermanos, con el cariño de siempre.

A mis compañeros Francisco, Jesús Enrique y Carmen.

A mi Alma Mater.

A mis Maestros.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco sinceramente al Dr. Luis Antonio Pérez González y al Ing. M.C. Arturo Coronado Leza, quienes contribuyeron gracias a sus consejos y valiosos conocimientos a que llegara a feliz término este trabajo.

Al Dr. Rolando Cavazos Cadena por haber participado, con su gran capacidad al desarrollo metodológico de este estudio. Gracias hermano.

Al Ing. M.S. Julián Gutiérrez Castillo por el apoyo brindado a lo largo de mis estudios.

Al Dr. Jorge Galo Medina Torres e Ing. M.C. Héctor M. Garza Cantú por la confianza depositada a mi persona en el desarrollo del presente estudio.

Agradezco también al Ing. Luis Carlos Cadena de la Rosa, quien sin su ayuda no hubiera sido posible el desarrollo de algunos aspectos de este trabajo.

A la Srta. Myrna Julieta Ayala, por su valiosa ayuda en el trabajo mecanográfico.

A todo el personal del Departamento de Recursos Naturales, principalmente al Ing. M.S. Eduardo Aizpuru García, quien con su ímpetu de trabajo, estudio y dedicación sirvió de ejemplo en el transcurso del desarrollo de este estudio.

CURRICULUM VITAE

El autor, Oscar Eduardo Cavazos Cadena, nació en la ciudad de Saltillo, Coahuila., el 28 de Enero de 1959, siendo sus padres Horacio Cavazos y Minerva Esthela Cadena de Cavazos.

La Instrucción Primaria la cursó en la Escuela Prof. "Miguel López", en la ciudad de Saltillo, Coahuila., durante el período comprendido de 1965 - 1971. La Educación Media Básica, la realizó en la Escuela Secundaria del Estado Prof. "Federico Berrueto Ramón", durante los años de 1971 - 1974, de la misma ciudad natal. En el año de 1974, ingresó a la Escuela Preparatoria "Ateneo Fuente" de la Universidad Autónoma de Coahuila; concluyendo en el año de 1976.

Los Estudios a nivel Licenciatura, los cursó en la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", iniciando en el año de 1976 y finalizando en Diciembre de 1980.

El día 25 de mayo de 1981, presentó su Examen Profesional con la Tesis titulada: "DINAMICA POBLACIONAL DE LARVAS Y ADULTOS DE Musca domestica (L) (Diptera Muscidae) EN ESTIERCOL DE BOVINO Y ARTROPODOS ASOCIADOS A ESTE MISMO MATERIAL ORGANICO". Recibiendo Mención Honorífica, con lo que se hizo acreedor de recibir el Título de INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA, para ejercerlo profesionalmente.

En el mes de Enero de 1982, inició los Estudios de Postgrado en la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", en la Especialidad de Manejo de Pastizales, concluyendo el requisito académico en Diciembre de 1983.

INDICE GENERAL

	Página
CAPITULO I: INTRODUCCION	1
1.1. Justificación	2
1.2. Objetivos	3
Objetivo general	4
Objetivos específicos	4
1.3. Hipótesis	4
CAPITULO II: LITERATURA REVISADA	5
2.1. Descripción del Pastizal Mediano Abierto	5
Topografía	5
Altitud	5
Suelo	6
Principales especies	6
Especies deseables	6
Especies menos deseables	7
Especies indeseables	7
Sitios de pastizal mediano abierto en el Estado de Coahuila	8
2.2. Descripción y Distribución del Arbusto Problema	9
Taxonomía	9
Descripción botánica	9
Distribución	10
Usos vernáculos	10
2.3. Causas de Invasión de Arbustivas en Pastizales	12
2.4. Principios Generales del Control de Arbustivas	14

	Página
2.5. Control Químico	15
Definición de herbicida y esterilizante	15
Historia del uso de los herbicidas	16
Principios de control químico de arbustivas	18
2.6. Control Químico de Arbustivas en Pastizales	20
2.7. Efectos del Control de Arbustos sobre la Fauna Silvestre	24
2.8. Breve Revisión de los Métodos Estadísticos Aplicados en el presente Estudio	26
Generalidades sobre la experimentación agrícola	27
Diseño experimental en bloques al azar	36
Análisis de covarianza en el diseño bloques al azar con una covariable: Contrastes ortogonales	41
El modelo lineal del diseño bloques al azar con una covariable	43
Estimación de los parámetros del modelo	43
Como efectuar una prueba sobre una comparación de efectos de tratamientos:	
Contrastes	45
CAPITULO III: MATERIALES Y METODOS	49
3.1. Descripción del Area General de Estudio	49
Geología	49
Hidrología	52
Climatología	52
Suelos	54
Vegetación	54
3.2. Area o Parcela de Estudio	54
3.3. Materiales	55
3.4. Metodología	61

	Página
CAPITULO IV: RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSION	82
Primer objetivo: Determinar cuál es el herbicida más efectivo para el control de hojaseñ (<u>Flourensia cernua</u> D.C.) en las épocas de invierno, primavera y verano	82
Segundo objetivo: Evaluar el efecto fitotóxico de los herbicidas sobre el hojaseñ (<u>Flourensia cernua</u> D.C.) a través del tiempo para cada época de aplicación	97
Tercer objetivo: Determinar la época más adecuada de aplicación de los herbicidas para el control de hojaseñ (<u>Flourensia cernua</u> D.C.)	98
Cuarto objetivo: Establecer un Modelo Económico que permita conciliar el rendimiento de los tratamientos con el costo total de aplicación.	101
CONCLUSIONES	108
RESUMEN	110
LITERATURA CITADA	113

INDICE DE CUADROS

No. Cuadro		Página
1	Tabla de ANVA para el diseño experimental en bloques al azar	41
2	Datos climáticos de la estación "Los Angeles" promedio de 1975 - 1983	53
3	Tratamientos y dosis empleadas a la aplicación de invierno sobre <u>Flourensia cernua</u> D.C., en el Rancho Demostrativo "Los Angeles". 26 de Febrero de 1983 . . .	63
4	Tratamientos y dosis empleadas en la aplicación de primavera sobre <u>Flourensia cernua</u> D.C., en el Rancho Demostrativo "Los Angeles". 28 de Mayo de 1983	64
5	Tratamientos y dosis empleadas en la aplicación de verano sobre <u>Flourensia cernua</u> D.C., en el Rancho Demostrativo "Los Angeles". 23 de Julio de 1983	65
6	Fecha de las evaluaciones cualitativas llevadas a cabo en las aplicaciones de invierno, primavera y verano sobre <u>Flourensia cernua</u> D.C., en el Rancho Demostrativo "Los Angeles"	71
7	Escala EWRC (European Weed Research Council), para evaluaciones visuales (cualitativas) del comportamiento de herbicidas en el control de malezas	72

No. Cuadro		Página
8	Escala para la evaluación visual (cualitativa) del comportamiento de herbicidas utilizada en el presente estudio	73
9	Evaluación cualitativa y cuantitativa de la aplicación de herbicidas realizada el 26 de Febrero de 1983 (Invierno) sobre el hojásén (<u>Flourensia cernua</u> D.C.), en el Rancho Demostrativo "Los Angeles"	83
10	Evaluación cualitativa y cuantitativa de la aplicación de herbicidas realizada el 28 de Mayo de 1983 (Primavera) sobre el hojásén (<u>Flourensia cernua</u> D.C.), en el Rancho Demostrativo "Los Angeles"	84
11	Evaluación cualitativa y cuantitativa de la aplicación de herbicidas realizada el 23 de Julio de 1983 (Verano) sobre el hojásén (<u>Flourensia cernua</u> D.C.) en el Rancho Demostrativo "Los Angeles"	85
12	Resultados del análisis de covarianza realizado para los datos cuantitativos obtenidos en la aplicación de herbicidas, efectuado el 26 de Febrero de 1983	87
13	Resultados del análisis de covarianza realizado para los datos cuantitativos obtenidos en la aplicación de herbicidas, efectuado el 28 de Mayo de 1983	88
14	Resultados del análisis de covarianza realizado para los datos cuantitativos obtenidos en la aplicación de herbicidas, efectuado el 23 de Julio de 1983	89
15	Tabla auxiliar en la toma de decisiones para la verificación del efecto fitotóxico mediante las hipótesis establecidas, para la aplicación efectuada el 26 de Febrero de 1983	99

No. Cuadro		Página
16	Tabla auxiliar en la toma de decisiones para la verificación del efecto fitotóxico mediante las hipótesis establecidas, para la aplicación efectuada el 28 de Mayo de 1983	99
17	Tabla auxiliar en la toma de decisiones para la verificación del efecto fitotóxico mediante las hipótesis establecidas, para la aplicación efectuada el 23 de Julio de 1983	99
18	Eficiencia de los tratamientos para la aplicación efectuada el 26 de Febrero de 1983, tomando como base los requisitos del Modelo Económico propuesto en este estudio	102
19	Eficiencia de los tratamientos para la aplicación efectuada el 28 de Mayo de 1983, tomando como base los requisitos del Modelo Económico propuesto en este estudio	103
20	Eficiencia de los tratamientos para la aplicación efectuada el 23 de Julio de 1983, tomando como base los requisitos del Modelo Económico propuesto en este estudio	104
21	Principales tratamientos para cada época de aplicación de acuerdo al Modelo Económico de eficiencia. Junio de 1984	107

INDICE DE FIGURAS

No. Figura		Página
1	Distribución geográfica de <u>Flourensia cernua</u> D.C. . .	11
2	Localización geográfica del Rancho Demostrativo "Los Angeles"	50
3	Mapa de la región del Desierto Chihuahuense	51
4	Configuración de las unidades experimentales utilizadas para llevar a cabo las aplicaciones de los productos herbicidas en las diferentes épocas de estudio	56
5	Diagrama de dispersión y recta de regresión que pone en evidencia la dependencia del número de plantas vivas finales del número de plantas vivas iniciales en la época de invierno	90
6	Diagrama de dispersión y recta de regresión que pone en evidencia la dependencia del número de plantas vivas finales del número de plantas vivas iniciales en la época de primavera	91
7	Diagrama de dispersión y recta de regresión que pone en evidencia la dependencia del número de plantas vivas finales del número de plantas vivas iniciales en la época de verano	92

INTRODUCCION

Las prácticas tradicionales de aprovechamiento de los pastizales en el Norte de México, se han caracterizado por la sobreutilización y el mal manejo del ganado, situación que ha originado que una gran parte de los mismos se encuentren degradados, sujetos a la erosión hídrica y eólica e invadidos por plantas indeseables para el ganado doméstico.

Con la introducción del ganado doméstico durante la colonia, las extensas áreas de pastizales en la zona árida y semiárida del Norte de México, se constituyeron como elemento primordial para el establecimiento de una floreciente industria ganadera, pero la falta de conocimientos sobre la capacidad sustentadora del pastizal y las diversas fases de manejo de los mismos, ocasionaron una fuerte perturbación de los pastizales (Brand, 1961). Después de prolongados períodos de explotación, la resultante ha sido la retrogradación del ecosistema pastizal y su cambio a estados inferiores al potencial, los cuales generalmente se caracterizan por la disminución de las especies deseables, dominancia de especies menos deseables e indeseables y por la destrucción del suelo (Humphrey, 1970; Herbel y Gould, 1973).

Así mismo, muchos millones de hectáreas de pastizales alrededor del mundo están siendo invadidas por plantas arbustivas indeseables. Al respecto se ha considerado que la invasión de estas especies se debe a varios factores que se interrelacionan entre sí, favoreciendo el rápido establecimiento de estas especies y además, impidiendo el establecimiento de especies forrajeras deseables y la cosecha de las mismas. Sin embargo, la causa principal de la invasión de arbustivas y la consecuente reducción en la producción de forraje, lo es sin duda, el mal manejo del pastizal por

parte del hombre durante largos períodos de tiempo, a través del pastoreo de los animales domésticos; esta afirmación concuerda con Brown (1950), quien considera que la invasión de la hierba de burro [Happlopappus tenuisectus] y el mezquite [Prosopis juliflora (Swartz) D.C.] en los pastizales de Arizona, se debe en gran parte a la intensa presión de pastoreo a que han estado sometidos dichos pastizales.

1.1. JUSTIFICACION

El proceso de invasión de arbustivas en pastizales se ha incrementado en este último siglo; tan es así —menciona Buffinton y Herbel (1965)—, que en los pastizales de Nuevo México, Estados Unidos de Norteamérica, en el año de 1858 el mezquite estaba presente tan solo en un cinco por ciento y para el año de 1963 dominaba con un 50 por ciento; la gobernadora ocupaba menos del uno por ciento en 1858 y más del 14 por ciento en 1963 y el hojásén dominó menos del uno por ciento en 1858 y el nueve por ciento en 1963.

Actualmente gran cantidad de superficie de pastizales en las zonas áridas se encuentran en estados productivos inferiores, a causa del mal manejo del recurso pastizal; tal es el caso de la comunidad Larrea-Flourensia dominada por la presencia de dos arbustos: gobernadora [Larrea tridentata (D.C.) Cov] y hojásén [Flourensia cernua D.C.] no teniendo valor forrajero la primera y con escaso valor forrajero la segunda (esta es consumida —solo en pequeñas cantidades— por ovinos y venados en épocas de sequía (Scifres, 1980)). La Larrea-Flourensia se ha convertido en una de las comunidades más importantes en la región denominada desierto Chihuahuense, en la cual ocupa alrededor de 10'000,000 de ha (González, 1972); también en el estado de Coahuila la comunidad Larrea-Flourensia ocupa una considerable superficie, a saber: 4'826,240 ha (COTECOCA, 1979).

Por lo anterior, uno de los grandes retos que afronta el manejador de pastizales es el de transformar o regresar ciertos ecosistemas al estado productivo que tuvieron, antes de que el hombre ejerciera su impacto sobre ellos. Para realizar esta transformación existen dos alternativas:

i) dejar que el lento proceso de sucesión ecológica cambie el estado del ecosistema, lo cual en muchos de los casos, tardaría muchos años y ii) acelerar el proceso de sucesión, mediante algunos métodos o tratamientos dados para mejorar o transformar el estado del ecosistema.

La segunda de las anteriores alternativas, parece ser bajo muchas condiciones, la más deseable de implementar. Para llevar a cabo esta transformación, se pueden utilizar métodos mecánicos, químicos, biológicos, manuales y físicos (Stoddart *et al.*, 1975; Heady, 1975; Biswell, 1954; Allred, 1949).

La transformación de los ecosistemas de pastizal, debe ser entendida como un proceso de planificación en el cambio de estado de los mismos, que al compararse y analizarse sistemáticamente, ofrecen una amplia gama de las posibilidades, alternativas y estrategias lógicas en la transformación, por lo que en la planificación de la transformación, es básico la fundamentación de las leyes, principios, propiedades, normas y atributos pertinentes que regulen el funcionamiento y características arquitectónicas o fisonómicas del pastizal (Medina y Nava, 1977).

1.2. OBJETIVOS

Atendiendo a la discusión realizada en la sección anterior, relativa a la importancia de la comunidad indeseable de *Larrea-Flourensia*, se ha considerado la necesidad de planificar el cambio de esos ecosistemas mediante el control de uno de los arbustos que componen dicha comunidad, a saber: Hojasén [*Flourensia cernua* D.C.].

De manera formal podemos establecer los siguientes objetivos como propósito fundamental del presente trabajo:

OBJETIVO GENERAL

Dar un panorama al ganadero para la selección del herbicida más adecuado en el control de Flourensia cernua D.C. atendiendo a consideraciones de rendimiento y costo.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 1°. Determinar cual es el herbicida más efectivo para el control de Flourensia cernua D.C. en cada una de las épocas de Invierno, Primavera y Verano.
- 2°. Evaluar el efecto fitotóxico de los herbicidas a través del tiempo para cada época de aplicación.
- 3°. Determinar la época más adecuada de aplicación de herbicidas para el control de Flourensia cernua D.C.
- 4°. Establecer un Modelo Económico que permita conciliar el rendimiento de los tratamientos con el costo total.

1.3. HIPOTESIS

- 1°. Existen diferencias entre los efectos que producen los herbicidas utilizados en cada época de aplicación.
- 2°. Para cada época de aplicación de los herbicidas, el efecto fitotóxico se incrementa en el tiempo, durante los primeros 120 días después de la aplicación de los mismos.
- 3°. La época de Verano es la adecuada para la aplicación de los herbicidas en el control de Flourensia cernua D.C.

LITERATURA REVISADA

2.1. DESCRIPCION DEL PASTIZAL MEDIANO ABIERTO

COTECOCA (1980), describe al tipo de vegetación pastizal mediano abierto (Cb) para el Estado de Coahuila, de la siguiente manera: constituido por plantas delgadas, angostas y largas (graminiformes) de porte bajo (mediano para gramíneas) de 0.15 a 0.20 m de altura, desprovistas de vegetación arbórea o arbustiva. Se localiza en las regiones del Sur, Sureste, Centro, Norte, Oeste y Noreste del Estado de Coahuila, en los municipios de Ramos Arizpe, General Cepeda, Arteaga, Saltillo, Cuatrociénegas, Castaños, Muzquiz, Zaragoza, San Buenaventura, Ocampo y Acuña.

Topografía

Generalmente se haya en lugares con pendientes entre cero y tres por ciento y de cuatro a 16 por ciento en laderas de sierras, por lo que pertenecen estos terrenos a las clases de "a nivel" o "casi a nivel", "ondulado" o "suavemente ondulado" y "quebrado" o "suavemente quebrado", con relieve de normal a subnormal, en laderas de sierras.

Altitud

Según la misma fuente, el pastizal mediano abierto se localiza normalmente a una altitud de 600 a 2900 msnm.

Suelo

Geológicamente, el área data de las eras mesozoicas y cenozoicas, períodos cretácico superior, cretácico inferior, cenozoico superior clásico e intrusivos del cenozoico inferior. Los suelos son de los denominados serozem grises del desierto, de origen in-situ y aluviales, con profundidad somera (cero a 25 cm) o profunda (más de 50 cm). La textura varía de franco-arcillosa a franco-limosa y franco-arenosa. La estructura es granular blocosa-subangular y masiva así como laminar, con presencia de sales, de color rojizo, gris rojizo y gris claro a blanco. El drenaje interno es de bueno a regular y deficiente en ocasiones, siendo frecuente la aparición de calizas a poca profundidad; la pedregosidad varía de cero a 20 por ciento y la rocosidad de cero a 15 por ciento, y el pH varía de 6.0 a 8.5.

Principales Especies

Navajita azul	<i>Bouteloua gracilis</i>
Navajita velluda	<i>B. chaseii</i>
Navajita negra	<i>B. eriopoda</i>
Zacate pelillo	<i>Muhlenbergia repens</i>

Especies Deseables

Navajita azul	<i>Bouteloua gracilis</i>
Navajita velluda	<i>B. chaseii</i>
Navajita negra	<i>B. eriopoda</i>
Zacate banderilla	<i>B. curtipendula</i>
Popotillo azucarado	<i>Andropogon sccharoides</i>
Zacate búfalo	<i>Buchloe dactyloides</i>
Zacate gigante	<i>Leptochloa dubia</i>
Zacate rizado	<i>Panicum hallii</i>
Zacate temprano	<i>Setaria macrostachya</i>

Especies Menos Deseables

Zacate pelillo	<i>Muhlenbergia repens</i>
Zacatón alcalino	<i>Sporobolus airoides</i>
Zacate desgranador	<i>S. cryptandrus</i>
Zacate toboso	<i>Hilaria mutica</i>
Zacate mezquite	<i>H. belangeri</i>
Zacate colorado	<i>Heteropogon contortus</i>
Zacate aparejo	<i>Muhlenbergia porteri</i>
Costilla de vaca	<i>Atriplex canescens</i>
Zacate guía	<i>Panicum obtusum</i>
Flechilla fina	<i>Stipa tenuissima</i>
Zacate escobilla	<i>Leptoloma cognatum</i>
Guajillo	<i>Acacia berlandieri</i>
Ramoncillo	<i>Dalea tuberculata</i>

Especies Indeseables

Navajita roja	<i>Bouteloua rothrockii</i>
Navajita barbada	<i>B. barbata</i>
Pata de gallo	<i>Chloris virgata</i>
Borreguero	<i>Erioneuron pulchellum</i>
Zacate burro	<i>Scleropogon brevifolius</i>
Encinos	<i>Quercus spp.</i>
Agrillo	<i>Mahonia trifoliolata</i>
Palma samandoca	<i>Yucca carnerosana</i>
Mezquite	<i>Prosopis juliflora</i>
Largoncillo	<i>Acacia constricta</i>
Gatuño	<i>A. gregii</i>
Gobernadora	<i>Larrea tridentata</i>
Hojasén	<i>Flourensia cernua</i>
Nopal	<i>Opuntia sp.</i>
Oreja de ratón	<i>Tequilia canescens</i>
Hierba de burro	<i>Zinnia pumila</i>
Escobilla	<i>Gutierrezia sp.</i>

Sitios de Pastizal Mediano Abierto en el Estado de Coahuila

En el Estado de Coahuila, existen cinco sitios de pastizal mediano abierto según lo señala COTECOCA (1980), mismos que se indican a continuación:

1. Pastizal mediano abierto en valles de la sierra de La Paila, con zacate navajita *Bouteloua gracilis*. Se localiza en la región Sur del Estado, en los municipios de Ramos Arizpe y General Cepeda en pequeños valles.
2. Pastizal mediano abierto en el valle de Bocatoche, de la sierra de La Purísima y planicies de los municipios de Saltillo y Arteaga, con zacate navajita *Bouteloua gracilis* y zacate pelillo *Muhlenbergia repens*. Se localiza en las regiones Sureste, Centro y Sur del Estado en los municipios de Arteaga, Saltillo, Cuatrociénegas y Castaños.
3. Pastizal mediano abierto en los valles de Peñalba, Colombia, La Babia y el Infante, con zacate navajita azul *Bouteloua gracilis* y navajita velluda *Bouteloua hirsuta*. Se localiza en las regiones del Centro, Norte y Oeste del Estado, en los municipios de Muzquiz, Zaragoza, San Buenaventura y Ocampo, en valles rodeados de lomeríos y sierras.
4. Pastizal mediano abierto en pequeños valles y planicies de origen ígneo, en el Norte y Noroeste del Estado con zacate navajita negra *Bouteloua eriopoda* y navajita azul *Bouteloua gracilis*. Se localiza en los municipios de Acuña, Zaragoza y Ocampo, en valles rodeados de lomeríos y sierras y en pequeñas planicies.
5. Pastizal mediano abierto en planicies en el Sureste del Estado con zacate navajita *Bouteloua gracilis* y navajita yesífera *Bouteloua chaseii*. Se encuentra en los municipios de Arteaga y Saltillo, en pequeñas planicies adyacentes a lomeríos y sierras.

Por otra parte, los coeficientes de agostadero que sugiere COTECOCA (1980), para el Estado de Coahuila en los cinco sitios de pastizal mediano abierto, tomando en cuenta la condición de pastizal, son en promedio para el sitio uno, 13.95; sitio dos, 15.02; sitio tres, 16.10; sitio cuatro 18.24 y sitio cinco, 21.47.

2.2. DESCRIPCION Y DISTRIBUCION DEL ARBUSTO PROBLEMA

Taxonomía

Reino	Metaphyto
Subreino	Spermatophyto
Clase	Angiospermae
Subclase	Dicotyledonae
Orden	Companulatae
Familia	Compositae
Subfamilia	Tubuliflorae
Tribu	Heliantheae
Género	<i>Flourensia</i>
Especie	<i>cernua</i> D.C.

Descripción Botánica

Arbusto muy ramificado, de uno a dos metros de altura, follaje denso, glabro, glutinoso, aromático con olor a brea; hojas alternadas, elípticas o casi elípticas de 17 a 25 cm de longitud, de 6.5 a 22.5 mm de ancho, agudo en ambos extremos del limbo, verde oscuro; pecíolos de 1 a 2.5 mm de longitud; cabezuelas casi sésiles en conjuntos foliáceos en las ramillas, inclinados, aproximadamente de un cm de largo y grueso; involucreo campanulado; brácteas de este en tres series, fuertemente diferenciadas, lineales, herbáceas, glutinosa, las puntas a menudo extendidas; involucreo ligeramente convexo, pajoso en todo el disco, las pajitas casi tan largas como las flores y abrazándolas parcialmente; indicio de flores ligualdas

ausentes; flores del disco perfectas, fértiles, las corolas amarillo pálido y de cinco dientes; aquenios lateralmente comprimidos y con dos bordes no alados ni muy planos, pubescencia tenue sedosa, estrechamente cuñados en la base, aproximadamente de 6 cm de largo, dos mm de ancho, papus de dos aristas ciliadas, desiguales, de 2.5 a 3.2 mm de largo, escamillas intermedias ausentes (Correl y Johnston, 1970). El hábito de crecimiento que presenta es de tallo individual, erecto (Scifres, 1980). El número cromosómico de este arbusto, se ha reportado como $2n = 36$.

Distribución

El *Flourensia cernua* D.C., es la entidad taxonómica más ampliamente distribuida dentro del Género, ocupando una extensa área en Norte América. Es frecuente encontrarla en suelos con gran cantidad de Carbonato de Calcio y suelos arenosos (Blake, 1913; Buffington y Herbel, 1965). En los Estados Unidos, esta planta se distribuye desde el Sureste de Arizona, Nuevo México hasta el Sur de Texas, donde se le conoce bajo los nombres comunes de tarbush y blackbrush (Vines, 1960; Correl y Johnston, 1970; Scifres, 1980).

En México, se localiza en la región del desierto Chihuahuense incluyendo los Estados de Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Zacatecas, Durango e Hidalgo, en donde se le conoce bajo los nombres comunes de hojasé, hojasén (Figura 1) (Quintanar, 1961; Gentry, 1957; Blake, 1913).

Usos Vernáculos

En México, la gente del campo acostumbra hervir las hojas y flores como remedio contra las indigestiones. En análisis químicos realizados por Jones y Earle (1966), en semillas de hojasén, encontraron un 16.2 por ciento de proteína, 6.6 por ciento de aceite y un examen positivo de taninos. Así mismo, Wall et al., (1961), encontraron escasa cantidad de alcaloides en las partes aéreas de la planta, como lo son hojas, ramas y flores.

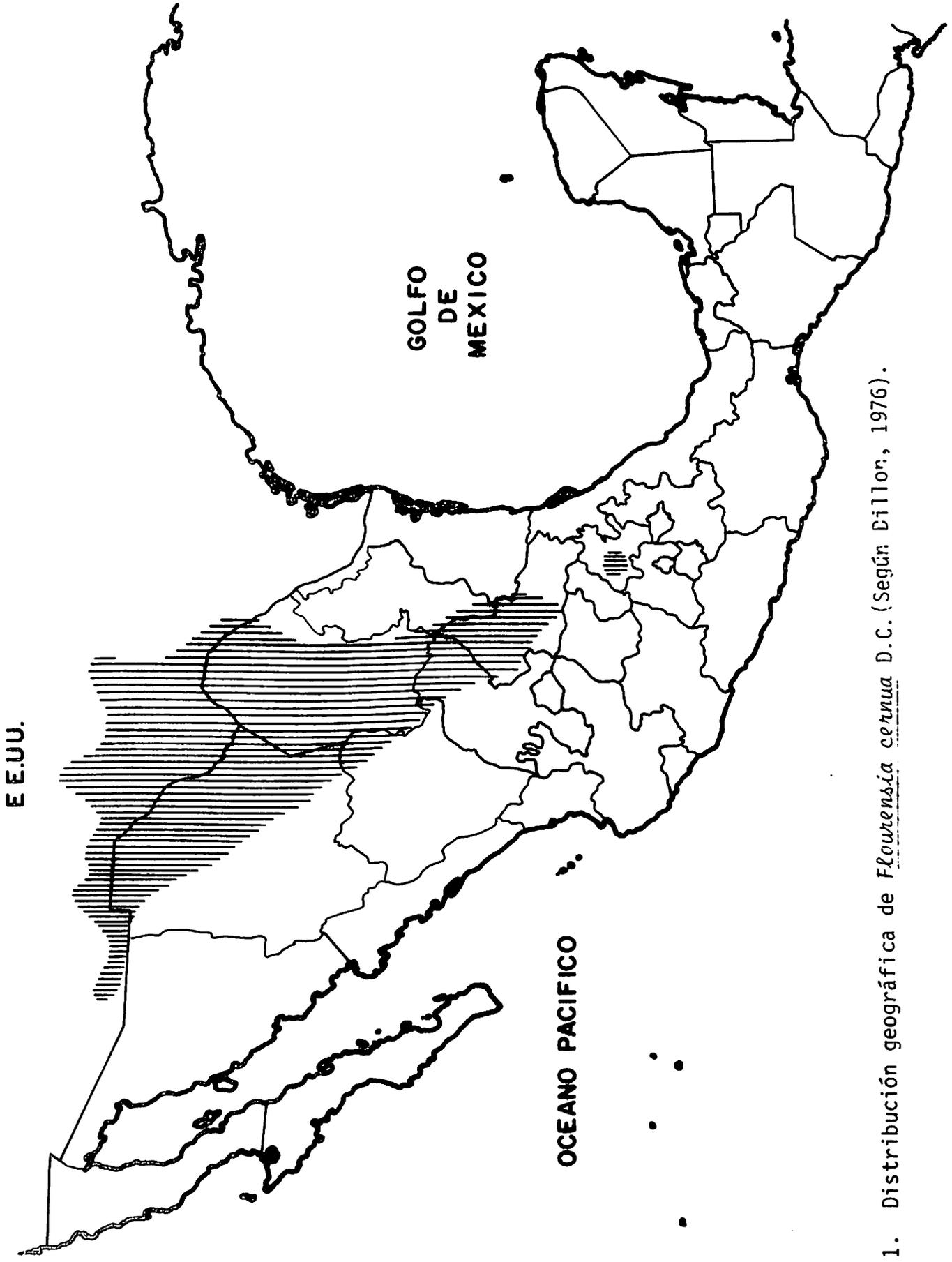


Figura 1. Distribución geográfica de *Flourensia cernua* D.C. (Según Dillor, 1976).

2.3. CAUSAS DE INVASION DE ARBUSTIVAS EN PASTIZALES

La invasión de especies arbustivas en pastizales, ha reducido la capacidad de producción de los mismos. Dentro de los factores que han provocado la invasión de arbustivas se pueden considerar: *i) pastoreo por animales domésticos, ii) competencia entre las plantas, iii) presencia de roedores y lagomorfos, iv) cambios en el clima y, v) reducción del pasto por el fuego* (Humphrey, 1958; Krebs, 1979).

Antes de la llegada de los españoles a México, existieron en el Norte de México y Oeste de los Estados Unidos algunas especies de fauna silvestre tales como el bisonte [*Bison bison*], berrendo [*Antilocarpa americana*] y venado, etc., desconociéndose el efecto de ellos sobre el pastizal. Sin embargo, tal efecto no es considerable si lo comparamos con el ganado doméstico, pues la fauna silvestre pastoreaba sobre grandes extensiones con lo cual un mismo sitio permanecía períodos largos de tiempo sin pastoreo, permitiendo que el pastizal se recuperara. En el caso del ganado doméstico, impuso una intensa presión de pastoreo y además existió un incremento de la carga animal por parte del hombre, por lo cual debe considerarse al pastoreo selectivo la causa principal que propició el incremento de especies arbustivas indeseables (Curtis, 1956).

Humphrey (1958) y Gentry (1957) describen una serie de historias de datos extraídos de travesías realizadas por los españoles en el territorio mexicano, que incluye parte de lo que hoy es Estados Unidos. Ambos coinciden en que existió, en esa época, una extensa zona de pastizales cortos y medianos y, hacen notar la rara y escasa presencia del mezquite, considerada actualmente como planta invasora. En la actualidad esta planta se encuentra ampliamente distribuida en el Norte de México y Oeste de los Estados Unidos, considerándose como causa principal del incremento de esta especie al sobrepastoreo por ganado bovino; no obstante, existe controversia de los efectos positivos y negativos de estos animales, si consideramos que los bovinos consumen más herbáceas que especies arbustivas y que además, los pastizales han estado sometidos a cargas animales elevadas, resulta que las especies arbustivas al no ser pastoreadas pueden competir

favorablemente con las gramíneas y eliminarlas, pudiendo ser explicado esto por el gran deterioro de los pastizales.

Por otra parte, como ha sido señalado por Humphrey (1958), la oscilación climática puede tener una gran influencia en la invasión de arbustivas, considerando a los cambios en el clima como un factor secundario. Así mismo, Curtis (1956), indica que la intensidad de pastoreo y todos los cambios ambientales han inducido, en la periferia de las grandes ciudades, a cambios en un clima más seco, con mayor intensidad de luz, temperatura y humedad relativa más variables y como existen especies altamente adaptadas a los disturbios, las invasoras iniciales tienden a ser las especies pioneras, con la gradual eliminación de aquellas tendientes al clímax.

Así mismo, el hombre en la época precolombina usaba el fuego para: *i) Aclarear bosques para la agricultura, ii) mejorar tierras para pastizales, iii) cercar animales y cazarlos y, iv) matar depredadores y mosquitos para protegerse de ellos* (Bartlett, 1956; Humphrey, 1958), lo cual provocó, según Humphrey (1958), el mantenimiento de los pastizales hasta la llegada de los españoles. Sin embargo, aún siguen existiendo áreas de pastoreo usando el fuego como herramienta; en virtud de que las arbustivas se encuentran desfavorecidas ante las quemas con respecto a los zacates, debido a dos razones: *i) suelen presentar yemas aéreas que son fácilmente destruidas por las quemas y, ii) después de la destrucción de la porción aérea por una quema, las arbustivas tardan años en reponer el tejido perdido, al contrario de los zacates que lo reponen en un solo período de crecimiento después de una quema.* Por otra parte, el hombre al abrir caminos que actúan como barreras y aunado al sobrepastoreo que ha evitado la acumulación de suficiente material combustible, han reducido la propagación natural y adecuada del fuego (Sauer, 1950; Ellison, 1960).

Además de todo lo anterior, según Humphrey (1958), una vez sobrepastoreada una área, se establecen las condiciones óptimas para el crecimiento de los roedores y lagomorfos los cuales tratan de mantener su habitat abierto para protegerse de los depredadores y contribuyen a la invasión de arbustivas al diseminar las semillas de dichas especies.

2.4. PRINCIPIOS GENERALES DEL CONTROL DE ARBUSTIVAS

Antes de iniciar este apartado, es conveniente definir lo que es el control de arbustos. Scifres (1980), lo define como cualquier práctica empleada para reducir la influencia de los arbustos, en el manejo y uso de la tierra.

Por otra parte, Stager (1979) y Mc Daniel (1980), mencionan que antes de iniciar el control de especies arbustivas indeseables, es necesario tomar en cuenta las siguientes consideraciones básicas:

i) Especies de plantas que serán tratadas

La mayor parte de las especies tienen un método de control eficiente y económico, por tal motivo no se debe generalizar el hecho de que si una planta es controlada por un método, otras van a tener reacción similar al mismo método, en igual forma, se debe tomar en cuenta la frecuencia y localización de los rebrotes, así como también la profundidad del sistema radicular para determinar el método a utilizar.

ii) Estado de crecimiento de la planta

En este caso, se debe determinar el período en que las plantas son más susceptibles a un tratamiento específico, esto es especialmente cierto en los tratamientos con herbicidas.

iii) Condiciones de la planta en el tiempo del tratamiento

Las plantas deben estar desarrollándose activamente y tener condiciones adecuadas en el suelo para continuar su crecimiento durante un período de tiempo; esto debe ser considerado especialmente en los tratamientos con herbicidas.

iv) Presencia de otras especies en el área de tratamiento

Aparte de las especies indeseables que se van a controlar, se debe de tomar en cuenta: a) Las especies indeseables secundarias que podrán incrementarse cuando la densidad de las especies problema se reduzcan como resultado de la aplicación del

tratamiento y, b) las especies forrajeras deseables que están presentes, ya que ellas pueden determinar el método de control a utilizar, ya sea selectivo o global.

v) *Sitio donde la planta está creciendo*

El tipo y profundidad del suelo, pendiente y presencia o ausencia de exceso de agua puede restringir el tipo de control seleccionado. Un lugar seco puede ser el área donde más fácilmente se puede exterminar una planta y a su vez es donde más difícilmente se restablezcan plantas forrajeras deseables. El control químico de la vegetación y la siembra es una posibilidad en áreas degradadas que tienen una productividad alta (Vallentine, 1971). Por otro lado, las áreas de una productividad baja, pueden ser utilizadas para la fauna silvestre.

vi) *Densidad de la comunidad*

Las plantas esparcidas pueden ser tratadas individualmente, sin embargo, una población con una alta densidad de una o varias especies puede requerir un tratamiento global.

Por otra parte, Jameson (1972), menciona que el tiempo óptimo para llevar a cabo un programa de control de arbustivas, cuando están cambiando los costos y beneficios, es cuando la tasa de cambio de los beneficios equivale a la tasa de cambio de los costos. Sin embargo, esta práctica de manejo puede llevarse a cabo considerando razones económicas o no económicas. En cualquier caso, es recomendable que la práctica se lleve a cabo cuando es mayor el beneficio.

2.5. CONTROL QUIMICO

Definición de Herbicida y Esterilizante

La definición más común y simple de herbicida es la que señala que *herbicida es cualquier producto químico usado para matar o inhibir el*

crecimiento de las plantas (Weed Sci. Soc. Amer., 1974; Klingman y Ashton, 1975; Baker et al., 1979; N.A.S., 1980).

Sin embargo, resulta conveniente complementar esa definición, de tal manera que sea más específica, razón por la cual hay que tomar en consideración aquella que indica que *herbicida es todo producto químico fitotóxico utilizado para destruir o inhibir el crecimiento de las plantas o la germinación de las semillas* (Marzocca, 1976; Mársico, 1980).

Por otro lado, resulta indispensable distinguir entre herbicida y esterilizante, pues este último es aquel producto químico que impide el desarrollo de la vida en un área. El problema de distinción de estos términos radica en que cualquier herbicida aplicado en dosis masivas se puede convertir en un esterilizante.

Historia del Uso de los Herbicidas

Durante cientos de años, el hombre luchó contra las malezas contando solo con sus manos, después empleó estacas puntiagudas, azadones, fuerza animal y finalmente fuerza mecánica (Klingman y Ashton, 1975; Timmons, 1970). Aunque los químicos tales como sales, cenizas y desechos industriales han sido usados para controlar plantas indeseables en forma no selectiva (Mársico, 1980; Scifres, 1980), las primeras referencias sobre la acción herbicida selectiva de sales inorgánicas datan tan solo de fines del siglo pasado cuando Bonnet en 1896, descubre accidentalmente en Francia que el caldo bordalés aplicado sobre la vid para combatir el mildiú mataba a la maleza *Sinapsis arvensis* que crecía en el viñedo. Casi simultáneamente otros investigadores en Alemania y Estados Unidos observaron que las sales de sulfato de cobre se pueden emplear como herbicidas selectivos en los cultivos de cereales. En la misma época (1900), se comprueba que varios fertilizantes tales como el nitrato de sodio, sulfato de amonio y cianamida de calcio actúan como herbicidas. En 1901 Bolley estudió el arsenito de sodio, el cual todavía continúa utilizándose, aunque en una escala restringida. Los compuestos de cloro y los cloratos se desarrollaron para usarlos como herbicidas solo en 1926. Otros productos inorgánicos

aparecieron más tarde, como el tiocianato de amonio, sulfamato de amonio, este último patentado en 1942 como arbusticida (Mársico, 1980).

El empleo de productos químicos comenzó a tomar gran importancia a partir del descubrimiento de la acción herbicida de ciertas sustancias hasta entonces utilizadas como reguladores del crecimiento vegetal, hecho acaecido alrededor del año de 1940, al comprobarse que el ácido alfa-naftilacético aplicado sobre plantas de avena, destruía a las plantas de mostaza silvestre [*Sinapsis arvensis*] que crecía junto a la avena, sin que este último fuera afectado (Marzocca, 1976). Hacia 1940 solo se usaban algunos herbicidas inorgánicos de contacto, aceites y esterilizantes del suelo para limpiar terrenos de hierbas. De modo general, los productos más frecuentes eran el clorato sódico, arsenito sódico y el bórax. Por otro lado, el sulfato de hierro y las sales de cobre se utilizaban para destruir las malezas de algunos céspedes (Primo y Carrasco, 1977).

Antes de la segunda guerra mundial, el clorato de sodio fue utilizado rutinariamente para el control de plantas perennes de raíz profunda, el arseniato de sodio fue utilizado para el control no selectivo de malezas y los dinitrofenoles fueron empleados para el control selectivo de malezas en los cultivos (Scifres, 1980).

Como consecuencia del descubrimiento del ácido alfa-naftilacético como herbicida, se estudiaron otras sustancias similares, trabajándose en forma simultánea, pero independientemente en Inglaterra y en Estados Unidos. Así en Inglaterra se comprobó que el ácido 2-metil-4-clorofenoxiacético, identificado posteriormente por la sigla MCPA, se comportaba como herbicida selectivo; en Estados Unidos, P.W. Zimmerman y A.E. Hitchcock en 1942, descubrieron el uso del 2,4-D como regulador del crecimiento de las plantas. Poco después, en 1944, P.C. Marth y J.W. Mitchel informaron las propiedades del 2,4-D como herbicida selectivo (Marzocca, 1976; Mársico, 1980).

Poco antes de 1940, el uso de herbicidas químicos se limitaban a algunos compuestos inorgánicos de contacto y esterilizantes del suelo, a

subproductos industriales pulverizados con aceite (Primo y Cuñat, 1968). Sin embargo, el desarrollo de esta práctica a través de líneas científicas ha ocurrido desde 1944, a partir del descubrimiento de la fitotoxicidad selectiva del grupo fenoxi (Anderson, 1977).

El hecho más decisivo en el desarrollo práctico de los herbicidas en los últimos años, ha sido el descubrimiento de las propiedades bioquímicamente selectivas del ácido 2,4-D (Primo y Carrasco, 1977). Por otra parte, el estudio del control de las malezas ha avanzado más desde 1942 (en que se aplicó por primera vez el 2,4-D), que durante el millón de años anteriores. Pero el control de las malezas en base a productos químicos aún se encuentra en sus inicios, si lo comparamos con los estudios del suelo y de la reproducción de las plantas; así en 1941, R. Pokorny (citado por Klingman y Ashton, 1975) realizó la síntesis química del 2,4-D. Parece ser que el primer impulso en las investigaciones sobre el uso práctico del 2,4-D procedió a la necesidad de un herbicida potente para las operaciones del ejército de los Estados Unidos en la pasada guerra mundial (Primo y Cuñat, 1968; Timmons, 1970). Al respecto, el Chemical Warfare Service, sostuvo gran parte de los trabajos en colaboración con el Departamento de Agricultura, Universidades y estaciones agronómicas de los Estados Unidos, y las primeras cantidades fueron consumidas por dicho servicio (Primo y Cuñat, 1968).

Así mismo, un mayor ímpetu con el uso de los herbicidas sobre las tierras de pastizal, fue el descubrimiento del 2,4-D en 1942 y las disponibilidades al costo próximo a la segunda guerra mundial. Con el tiempo, muchos nuevos herbicidas fueron introducidos y son ahora utilizados para el mejoramiento de pastizales (Vallentine, 1971).

Principios de Control Químico de Arbustivas

A través de la aplicación de herbicidas puede lograrse un adecuado control de plantas indeseables y una considerable mejora en la capacidad de pastoreo de los pastizales. Un obstáculo para esto es la falta de

información sobre la respuesta de ciertas especies a diversos herbicidas (Herbel, 1983). Sin embargo, el costo de desarrollo de nuevos herbicidas para el control de plantas leñosas es elevado debido a que se requieren áreas relativamente grandes de tierra y varios años de investigación (Bovey et al., 1979).

Los herbicidas pueden ser clasificados como de contacto, traslocables, selectivos y no selectivos, y esterilizantes del suelo (Vallentine, 1971; Ennis, 1971). Un herbicida de contacto mata solamente aquellas partes de la planta que están en contacto, o directamente expuestas al químico, como por ejemplo, el herbicida Diquat y Paraquat. Un herbicida traslocable o sistémico aplicado a una parte de la planta, es absorbido por ésta y luego trasladado a otras partes que puedan estar bastante alejadas del lugar de la aplicación, pudiendo tener acción en consecuencia, tanto en los órganos aéreos como los subterráneos, como por ejemplo, el 2,4-D [2,4 diclorofenoxiacético], 2,4,5-T [2,4,5-Triclorofenoxiacético]; Silvex, Picloram [ácido 4-amino-3,5,6 diclorobenzoido]. Un herbicida selectivo actúa sobre plantas de interés antrópico, como por ejemplo, los herbicidas enlistados como traslocables. Un herbicida no selectivo, actúa sobre todas las plantas que alcanza el producto, como por ejemplo, el Amitrole [3-amino-1,2,4-triazol] y Paraquat [1,1'-dimetil-4,4'-dipiridilo] en forma de dicloruro o dimetil sulfato.

Por lo que se refiere a un esterilizante, este es aquel herbicida que mata o daña a las plantas cuando está presente en el suelo, como por ejemplo Bromacil [5-bromo-3-sec.-butil 6-metil uracilo]; Dicamba, Monurón [(3-p-clorofenil)-1-dimetil urea]; Picloram y Terbutiuron (N-[5-(1,1-dimetil etílico)-1,3,4-tiodiasol-2-yl]-N-N' dimetilurea). La mayoría de estos últimos herbicidas son selectivos en bajo porcentaje y no selectivos en altos porcentajes (Scifres et al., 1978).

La aplicación global es el método más comúnmente utilizado en los pastizales, ya que los productos químicos son aplicados tanto a las plantas deseables como las indeseables; para ello se requieren herbicidas selectivos (Scifres, 1980; Herbel, 1983). Las aspersiones pueden llevarse a

cabo por medios terrestres o aéreos. Así mismo, los herbicidas pueden ser aplicados en forma de gránulos o cápsulas, pero requieren que su aplicación se realice en las épocas de lluvias para que puedan disolverse y así poder penetrar dentro del suelo y ser absorbidos por la planta.

En algunas áreas, la pérdida excesiva de herbicidas puede deberse a la lixiviación mayor por debajo de la zona de la raíz de las plantas objetivo, por la absorción de los coloides del suelo, o la descomposición de los herbicidas por altas temperaturas (Herbel, 1983).

Por otra parte, Herbel (1983), menciona que para obtener un buen éxito en la aplicación de herbicidas sobre arbustivas indeseables, es necesario tomar en cuenta lo siguiente:

- i) Utilizar el herbicida adecuado*
- ii) Cantidad apropiada del herbicida*
- iii) Volumen apropiado*
- iv) Aplicar el producto en la época adecuada*
- v) Utilización de un método adecuado de aplicación.*

En el caso de que se utilizara el método de aplicación aérea, se debe de considerar lo siguiente: a) equipo de aplicación b) condiciones del clima, c) anchura de la hilera, d) altura de vuelo, e) equipo de carga-mezcla, f) material de aspersión, g) remoción del ganado, h) indicaciones sobre el contenido del herbicida.

2.6. CONTROL QUIMICO DE ARBUSTIVAS EN PASTIZALES

El control de arbustivas y malezas en pastizales es, fundamentalmente, un problema de manejo que debe de ser realizado con bases ecológicas dentro del contexto económico (Scifres, 1977). Existen grandes áreas invadidas por especies arbustivas y malezas indeseables en los pastizales del mundo, tal es el caso de la comunidad Larrea-Flourensia dentro del

desierto Chihuahuense en México; otro ejemplo es la gran cantidad de hectáreas invadidas por el mezquite [*Prosopis juliflora*] en los Estados Unidos, la cual se estima en 38 millones de hectáreas y, tan solo en Nuevo México se estima que existen 4 millones de hectáreas invadidas por dicho arbusto (Herbel et al., 1983). Por tal motivo, se han desarrollado múltiples trabajos para tratar de determinar qué operador de transformación es el más adecuado para controlar las especies arbustivas indeseables en los pastizales. Uno de los métodos de transformación, que en los últimos años se le ha dado mucha importancia, es sin duda el control químico. Al respecto, se han desarrollado múltiples estudios para tratar de determinar cuáles herbicidas son más susceptibles para algunas arbustivas indeseables, así como la dosis adecuada, época y el método de aplicación más efectivos. En este sentido, Schmutz (1967), realizó un estudio para tratar de determinar la eficiencia y época de aplicación de herbicidas para el control de la gobernadora [*Larrea tridentata*], largoncillo [*Acacia constricta* Benth] y hojásén [*Flourensia cernua*] en Arizona, Estados Unidos de Norteamérica, encontrando que el 2,4-D en dosis de 4 lb/acre fue más efectivo para el control del hojásén, el 2,4,5-T en dosis de 2 a 4 lb/acre fue efectivo para controlar la gobernadora y el largoncillo, ambos aplicados en la época de Verano. El mismo autor menciona que el herbicida Picloram, aplicado en dosis de $\frac{1}{2}$, 1 y más de 2 lb/acre, controla aproximadamente el 100 por ciento de las plantas de largoncillo, gobernadora y hojásén respectivamente, teniendo más susceptibilidad el largoncillo hacia el Picloram aplicado en la época de Verano.

Schmutz (1971), menciona que la máxima absorción y translocación del 2,4,5-T en la gobernadora [*Larrea tridentata*], ocurre después de 30 días de haberse iniciado la estación de Verano y coincidiendo con la máxima mortalidad cuando se aplica este producto. El movimiento de este herbicida es muy rápido recorriendo 1 a 5 cm/hr con un movimiento basipétalo, cesando este movimiento después de 18 - 24 horas de haberse aplicado el producto químico. El mismo autor reporta que la más alta susceptibilidad de la gobernadora al 2,4,5-T es cuando este arbusto se encuentra en la fase de floración total y media fructificación.

Norris et al., (1982), determinaron que la aplicación de 2,4-D + Picloram en dosis de 4.6 + 1.2 kg/ha es efectiva para controlar las arbustivas Rhus diversiloba, Rosa sp., Ceanothus sp. y Rubbus sp.; sin embargo, la relación de 1:4 de Picloram + 2,4-D fue la mejor desde el punto de vista económico. Por otra parte, los mismos autores reportan que tales productos son degradados a los 10 y 18 meses después de la aplicación, respectivamente.

Schmutz (1967), reporta que el hojaseñ [Flourensia cernua] es muy susceptible al 2,4-D y 2,4,5-T aplicados en Agosto o Septiembre, 30 días después de la época de lluvias. Sin embargo, las aplicaciones foliares de 2,4-D y 2,4,5-T en dosis de 4.5 kg/ha en Agosto, controlan del 47 al 70 por ciento de este arbusto. La aspersion foliar de Picloram aplicado durante el Verano en dosis de 0.3, 0.6, 1.1 y 2.2 kg/ha, controlan el 15, 30, 55 y 85 por ciento de plantas de hojaseñ, respectivamente. En un estudio realizado por Scifres (1980), demostró que el hojaseñ es susceptible a la aplicación de productos químicos herbicidas fenóxicos aplicados al follaje, que comúnmente se utilizan en pastizales.

Hoffman y Rasgdale (1966), citados por Bovey et al., (1969), mencionan que el huizache [Acacia farnesiana Willd.] es controlado eficientemente con 2,4,5-T en dosis de 8 libras por cada 100 galones de Diesel por acre aplicados a los árboles en forma individual. Sin embargo, Bovey et al., (1969), demostraron que las dosis de 10 lb/acre de Bromacil, mata al 100 por ciento de las plantas de huizache cuando se aplican en la época de otoño, teniendo este producto la desventaja de que no es selectivo, eliminando conjuntamente la vegetación herbácea. El Picloram en dosis de 4 lb/acre aplicado en el mes de mayo, controla tanto al huizache como al mezquite.

Las mezclas de herbicidas, en algunas ocasiones, son más efectivas que las aplicaciones de productos individuales para controlar especies arbustivas, debido a que las mezclas de herbicidas pueden aumentar la fitotoxicidad de los productos y lograr un incremento en el control a bajo costo (Meyer, 1982).

En un estudio realizado por Meyer y Bovey (1973), encontraron que la mezcla de Picloram + Dicamba en dosis de 0.56 + 0.56 y 1.12 kg/ha son eficientes para controlar el mezquite [*Prosopis juliflora*] en un 13 y 17 por ciento respectivamente, aplicados en la época de Verano en comparación con la aplicación de Picloram en dosis de 0.56 kg/ha y el Dicamba en dosis de 0.56 el cual controla aproximadamente el 10 por ciento del mezquite. Scifres et al., (1973), concluyeron que el 2,4,5-T + Diesel en una proporción de 1:100 de material comercial por hectárea ofrece una posibilidad para tratar de controlar el mezquite, obteniendo un 85% de control de estas plantas en la época de Verano.

Bovey et al., (1969), encontraron que la mezcla de Picloram + 2,4,5-T en dosis de 1 lb/acre es efectiva para controlar el huizache, aplicando estos productos por vía aérea en la época de Otoño.

Las formulaciones en gránulos de herbicidas, han demostrado un buen control de ciertas especies de arbustivas, muchas de las cuales son muy susceptibles a aplicaciones foliares. Las formulaciones granuladas de Fenurón [1,1-dimetil-3-fenilurea] y Monuron, aplicados en el Verano en dosis de 2.2 kg/ha, controlan el 75 y 66 por ciento del hojaseñ respectivamente, y el Fenurón en dosis de 4.5 kg/ha controla por completo este arbusto (Ueckert et al., 1982). El producto químico herbicida Terbutiuron controla eficientemente muchas plantas leñosas (Bovey y Meyer, 1978; Scifres et al., 1978, 1979).

El Terbutiuron comprimido, a razón de 0.3 kg/ha, mata del 90 a 95 por ciento de plantas de hojaseñ. Sin embargo, en dosis de 0.4 a 1.6 kg/ha con un 20 por ciento de ingrediente activo (i.a.) controla eficientemente el hojaseñ aplicado en la época de Invierno, en densidades de 2,000 a 15,000 plantas por hectárea (Ueckert et al., 1982).

Jacoby et al., (1982), reportan que el Terbutiuron comprimido en dosis de 0.5 a 1.0 kg/ha controlan el 61 y 83 por ciento de la gobernadora después de 8 meses de que se realiza la aplicación en la época de Invierno. Por otra parte, aplicaciones con Bromacil, Fenuron, Picloram y Dicamba en gránulos, a razón de 2 gr de i.a. por metro de diámetro de cobertura

de gobernadora fueron efectivos, matando el 80 por ciento de las plantas. El Isocil, Bromacil, Monuron, Fenuron y Dicamba a razón de 1 gr de i.a. por metro de diámetro de cobertura, mataron el 85 por ciento de las plantas en suelos arcillosos (Herbel y Gould, 1973).

2.7. EFECTOS DEL CONTROL DE ARBUSTOS SOBRE LA FAUNA SILVESTRE

Muchos estudios han tratado de determinar los impactos que tiene el control de arbustos sobre el habitat de la fauna silvestre. Holecheck (1981), menciona que la calidad de la cubierta vegetal es tan importante como la variedad de forraje, cantidad y calidad de cada una de las especies que componen el ecosistema pastizal. Debido a esta razón, los trabajos de control que incrementan la diversidad de las especies son generalmente benéficos.

Scifres (1980) y Scotter (1980), mencionan la existencia de una relación muy estrecha entre la cantidad de arbustivas y la cantidad de venados cola blanca [*Odocoileus virginianus*] y venado bura [*Odocoileus sp.*], ya que si se erradica por completo una población de arbustivas, la población de venados disminuye notoriamente, debido a que las arbustivas producen alimento en épocas de sequía para dicha fauna silvestre, recomendando tomar en cuenta las preferencias forrajeras del venado, antes de iniciar un control de arbustivas. Al respecto Bryant et al., (1979), determinaron que la fauna consume el 61 por ciento de arbustivas, 31 por ciento de hierbas y un ocho por ciento de zacates.

Así mismo, Mitchell y Smoliak (1971), determinaron que el berrendo [*Antilocarpa americana*], en contraste con el venado, prefiere áreas llanas y planas para el pastoreo y, la distribución de pastoreo es en un 68 por ciento en áreas de zacatales, 32 por ciento en matorral-zacatal y uno por ciento en áreas desérticas, encontrando que en Primavera-Verano el berrendo prefiere especies herbáceas suculentas y en épocas de Otoño-Invierno, arbustivas principalmente, debiéndose tomar en cuenta que estos hábitos son importantes en el control de arbustivas indeseables para el ganado doméstico.

Por otra parte, como sucede con los ungulados silvestres, el control de arbustos puede dañar o mejorar las poblaciones de aves silvestres. Según Klebenow (1972), el control de Artemisa tridentata trae consigo un efecto sobre la población de Centrocercus urophasianus en nidación, debido a que la Artemisa tridentata provee alimento y protección para esta ave. El mismo autor menciona que la aplicación de 2,4-D sobre este arbusto redujo grandemente el número de Centrocercus urophasianus en nidación; como consecuencia esta ave redujo notoriamente su población, debido a que la nidación se redujo durante los primeros cinco años después de la aplicación y no fue hasta diez años posteriores a la aplicación cuando la población alcanzó la densidad original.

Un ave de mucho interés cinegético en el Suroeste de los Estados Unidos es la Zenaida macroura, la cual utiliza el mezquite [Prosopis sp.] para la nidación, esta planta por lo regular causa serios problemas en el manejo del pastoreo del ganado por lo cual es necesario controlarla. Un estudio realizado en Texas por Soutiere y Bolen (1976), demostró que al utilizarse el fuego controlado o la aspersion de productos fitotóxicos para el control del mezquite, estas aves compensaban la pérdida del mezquite nidando en el suelo. El mismo estudio reveló que los intentos de nidación en el suelo fueron más frecuentes que en los mezquites y que estas aves prefirieron nidar en áreas tratadas; por lo tanto, el control del mezquite, al menos como se llevó a cabo en este estudio, podría beneficiar a las Zenaida macroura, en el Suroeste de los Estados Unidos.

En años recientes, se ha observado la importancia que tienen los pequeños mamíferos en el ecosistema pastizal, debido a que estos animales contribuyen grandemente en el ciclo de nutrientes, son presa de animales silvestres y proveen recreación al hombre; sin embargo, pueden causar serios problemas debido a que consumen el forraje deseable del ganado doméstico y pueden ocasionar grandes pérdidas (Holencheck, 1981). Por otra parte, es necesario realizar investigaciones para poder determinar los efectos del control de arbustos sobre las poblaciones de roedores, lagomorfos, predadores, etcétera. Al respecto, Scifres (1980), señala que para tratar de preservar la fauna silvestre existente en áreas donde se va a

realizar un programa de control de arbustivas, se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- i) *Identificar la fauna silvestre residente y las áreas que habitan actualmente*
- ii) *Determinar los requerimientos ecológicos de la fauna silvestre residente*
- iii) *Determinar los factores de mayor limitación para la residencia de la fauna silvestre*
- iv) *Determinar que habitats críticos, si hay alguno, debe ser destruido por el proyecto de control propuesto*
- v) *Determinar la duración del proyecto*
- vi) *Estudiar los impactos reportados de proyectos similares de control sobre la fauna silvestre en áreas donde han sido aplicadas*
- vii) *Coordinar el proyecto con las necesidades de la fauna silvestre residente, tal como sea posible*
- viii) *Monitorear la respuesta de la fauna silvestre residente, al tratamiento de control, después de su aplicación.*

2.8. BREVE REVISION DE LOS METODOS ESTADISTICOS APLICADOS EN EL PRESENTE ESTUDIO

Es poco lo que se menciona en la literatura, hasta estos momentos revisada, sobre los métodos estadísticos que se utilizaron para lograr las conclusiones a que se han venido haciendo referencia. Por esta razón, esta sección sigue una tónica un poco diferente a las anteriores, distinguiéndose en el hecho, de que se analizarán los resultados de índole teórico que fundamentan los métodos estadísticos que se utilizan en este trabajo, y no precisamente los que otros autores han utilizado para lograr

finés similares. En la medida de lo posible, se han hecho las citas correspondientes cuando la importancia de uno de los resultados, así lo amerita. En una gran parte de esta sección, sin embargo, la forma de abordar los temas es producto de experiencia propia, la cual dará lugar a que existan párrafos en el trabajo, señalados como importantes, sin que se haga la cita correspondiente.

Generalidades sobre la Experimentación Agrícola

Durante los últimos años el nivel de desarrollo económico de un país se midió en función de su desarrollo industrial que a su vez, depende de los avances científicos en disciplinas tales como las matemáticas y la física, así como en los descubrimientos tecnológicos propios de las áreas de ingeniería en las que la Mecánica, Eléctrica, Electrónica y Metalúrgica juegan un papel importante. En la actualidad, sin embargo, se hace día a día más evidente la importancia que tiene el desarrollo agropecuario de un país visto como fuente de subsistencia, riqueza e independencia e, incluso, como herramienta para sojuzgar a otros pueblos. Esto ha ocasionado que los países altamente industrializados dediquen cada vez más grandes sumas de dinero a la investigación en las diversas ciencias biológicas, favoreciendo en modo especial a la investigación agropecuaria. Ahora bien, este tipo de investigación está basado en la *experimentación* por lo que para que tenga valor científico es necesario *diseñar los experimentos* para llevarla a cabo de manera tal que:

- i) *La información obtenida puede ser interpretada sin ambigüedad*
- ii) *El análisis de esta información permita efectuar pronósticos sobre los resultados que se obtendrán en situaciones similares a los que prevalecían durante la realización del experimento.*
- iii) *Sea posible medir el grado de certeza de los pronósticos que se hagan a partir de este análisis.*

Al diseñar un experimento se deben considerar también las limitaciones de tiempo y costo dadas al inicio del proyecto de investigación. Todas

estas consideraciones nos conducen a pensar que las técnicas de diseño de experimentos no pueden ser propuestas arbitrariamente, sino que requieren de una formulación matemática precisa que permita determinar las leyes del azar que gobiernan al experimento. Esta formulación matemática es, precisamente, lo que constituye el modelo matemático del diseño de experimentos particular bajo estudio.

Los experimentos con carácter agropecuario pueden ser ejecutados en laboratorios, invernaderos, sobre el mismo modelo matemático, o directamente en el campo; en este punto se debe señalar que las conclusiones de un experimento deben ser válidas, solo si las condiciones bajo las cuales se ejecuta el experimento son bastante similares a las que reinarán en el campo de producción. En efecto, independientemente del modo en que se lleve a cabo el experimento y del lugar en que se realiza, éste debe responder a necesidades de orden práctico. Esto no significa que las investigaciones agropecuarias no tienen también carácter teórico; por el contrario, las dos formas de investigación (teórica y aplicada) se interfieren constantemente, logrando que una sea complemento de la otra. Las investigaciones agrícolas desarrolladas directamente en el campo responden, en primer lugar, a los requerimientos de la investigación aplicada si ellos fueran planeados con este fin. Pero algunas veces las verificaciones y validaciones necesarias en investigaciones de campo, pueden realizarse más fácilmente en espacios controlados tales como laboratorios, invernaderos y los mismos modelos matemáticos en donde los factores ambientales están total o parcialmente bajo control; de esta manera se pueden también obtener resultados de orden teórico aplicables no tan solo al campo de producción bajo estudio, sino también a campos con condiciones ambientales diferentes.

Diariamente tomamos un número considerable de decisiones. De hecho, si revisamos nuestro pasado, observaremos que el puesto donde nos encontramos depende en gran medida de las decisiones que a lo largo de nuestra vida hemos tomado. La mayoría de estas decisiones han sido tomadas bajo incertidumbre, es decir, bajo un conocimiento limitado sobre los fenómenos acerca de los cuales tomamos decisiones; resulta así que ante cualquier

decisión, nos enfrentamos a un riesgo que, aunque sea de manera subjetiva, hemos tenido que estimar. La manera de objetivar el método de estimación de este riesgo es utilizando la *estadística* la cual puede ser definida, precisamente, como la *técnica cuantitativa (o matemática) que nos auxilia a tomar decisiones bajo incertidumbre mediante la estimación cuantitativa de los riesgos y mediante información —de tipo también cuantitativo—, sobre el valor de los parámetros objeto de decisión.*

La aplicación de la estadística involucra el suponer un conocimiento —aunque sea limitado— del fenómeno bajo estudio. Este conocimiento se obtiene como producto de la observación repetida del fenómeno en cuestión; de hecho, se puede afirmar en forma general que estas observaciones son ... respuesta a un cuestionario dirigido al sujeto de estudio. En ocasiones, este sujeto es el hombre mismo y la comunicación con él, para que responda al cuestionario, se puede efectuar en forma verbal mediante una simple encuesta; otras veces, el fenómeno bajo estudio es tan pasivo que permite el autoservicio en el proceso de registro de datos al entregar mediante la sola medición de las características de interés, las respuestas a las preguntas que se han formulado. Sucede sin embargo, que existen ocasiones en que para obtener la información deseada, se debe crear todo un lenguaje con el fin de filtrar las perturbaciones que pudieran existir en las respuestas que da la naturaleza. El mecanismo central de este lenguaje es el establecimiento de un experimento y la eliminación de las perturbaciones en la comunicación con la naturaleza se efectúa mediante su diseño adecuado. Resulta así que *el experimento puede ser definido como un conjunto de acciones realizadas para solicitar de la naturaleza información de nuestro interés*; particularizando a las ciencias agropecuarias, se puede definir a un experimento como la manipulación o modificación de ciertos factores que presumiblemente afectan el comportamiento de una característica de interés en un sistema pecuario, con el fin de solicitarle a éste datos sobre la forma y magnitud de la dependencia entre dicha característica y los factores que la afectan. *Diseño de experimentos, por consiguiente, puede ser definido como el proceso de planear el experimento de manera de coleccionar los datos cuyo análisis nos permita emitir conclusiones válidas y objetivas, la validez pudiendo ser proporcionada mediante la eliminación de*

sesgos y perturbaciones y la objetividad mediante el análisis estadístico de los resultados.

Aún cuando la investigación experimental es propia de diferentes disciplinas de la ciencia, los objetivos de la misma, alcanzables con el auxilio de las técnicas de diseños experimentales, pueden ser resumidos bajo los siguientes enunciados:

- i) Seleccionar los factores que más significativamente afecten al fenómeno bajo estudio y estimar su efecto.*
- ii) Seleccionar, de entre una multitud de hipótesis sobre el mecanismo de algún fenómeno de interés, la que más aceptablemente se adapte a los resultados del experimento.*
- iii) Encontrar condiciones óptimas (Alder et al., 1975).*

Como resultado de los logros de los anteriores objetivos, el investigador puede tomar decisiones de serias consecuencias para la comunidad que es para recibir los beneficios de la investigación. De esta manera —por ejemplo—, el investigador en agricultura puede: recomendar una variedad, método de trabajo o pesticida; dar un panorama explicativo sobre el comportamiento de diferentes dosis de un fertilizante, sugerir nuevas líneas de investigación, etc.

Existe cierta uniformidad entre los investigadores en agricultura en cuanto a los términos utilizados en el proceso de planeación y diseño de los experimentos; de esta manera, el experimentador utiliza la palabra *factor* para referirse a una variable de la cual se sospecha que puede afectar al comportamiento del objeto de investigación, sobre la que se han establecido ciertas hipótesis y cuyos valores pueden sujetarse a la voluntad del experimentador. Se utiliza la palabra *nivel de un factor* cuando se hace mención a cualquiera de los valores en que se pretende fijar un factor: cuando los objetivos de la investigación conducen al experimentador a realizar el experimento probando "i" valores diferentes de un factor, entonces decimos que dicho factor será probado a "i" niveles. Los experimentos son más complejos a medida que aumenta el número de factores y el

número de niveles por factor bajo consideración. Cada combinación de niveles de los factores bajo estudio, que se desea probar o comparar, es llamado "*tratamiento*". Se acostumbra llamar bajo el nombre de "*unidad experimental*" a aquel conjunto de material o aquella parte del objeto de investigación, que recibe un solo tratamiento en un solo ensayo (Cochran y Cox, 1976). En el caso de la experimentación agropecuaria, la unidad experimental puede ser una maceta, una planta, un surco, un potrero, una exclusión. El tamaño de la unidad experimental —cuando la unidad experimental es una parcela—, varía de acuerdo al objetivo de la investigación, así como de la forma de la parcela. Un problema que resulta es el determinar la forma más adecuada de la parcela. Steel y Torrie (1960), señalan que "...estudios de datos de experimentos sin la presencia de tratamientos, conducidos con muchos cultivos en muchos países, han demostrado que las parcelas individuales deberían ser relativamente largas y angostas para obtener una mayor precisión". Un problema que no ha disminuido su importancia en la experimentación agropecuaria, es determinar, para un experimento particular, cuál es la forma de parcela que nos da mayor precisión en cuanto a los resultados del experimento.

Para llevar a cabo el Diseño de Experimentos, se consideran tres principios básicos, a saber:

i) Repetición.

Cuando un tratamiento aparece más de una vez en un experimento, se dice entonces que este tratamiento está repetido. Se puede resumir en dos, los objetivos fundamentales de la repetición, uno de ellos siendo, precisamente, obtener una estimación más precisa del efecto medio de los tratamientos. El otro objetivo importante de la repetición, es obtener una estimación del error experimental, es decir, de la diferencia entre el efecto obtenido y el efecto real causado por los tratamientos. El error experimental se estima por medio de la variación obtenida en las observaciones a unidades experimentales tratadas igualmente. Esta variabilidad proviene, a su vez de dos fuentes: de la falta de uniformidad de las unidades experimentales (variabilidad inherente) y de la falta de uniformidad en la conducción

física del experimento. El error experimental puede, por consiguiente, reducirse: utilizando unidades experimentales homogéneas; teniendo cuidado especial en la conducción del experimento y; usando un diseño experimental más eficiente.

ii) Aleatorización.

Por aleatorizar un tratamiento, se entiende aquel sistema de distribución de los tratamientos a las unidades experimentales, que permite que cada unidad experimental tenga la misma oportunidad de recibir cierto tratamiento específico. La aleatorización ayuda a evitar la presencia de sesgos sistemáticos en las estimaciones del error experimental, de los efectos de los tratamientos y de la variación entre estos efectos. La aleatorización se restringe en algunos diseños experimentales (bloques, cuadrado latino, etc.), con el propósito de disminuir el error experimental. La aleatorización valida también la aplicación de los modelos matemáticos bajo los cuales se analizan los resultados del experimento.

iii) Control local.

El control local se refiere a la posibilidad de balancear la distribución de los tratamientos a las unidades experimentales, a la posibilidad de agrupar las unidades experimentales más homogéneas (bloqueo), y al grado en que se pueden manejar los factores que van a ser objeto de análisis.

Las técnicas estadísticas que constituyen los diferentes diseños experimentales requieren como paso esencial, previo a su aplicación, la definición de la *variable de respuesta* del experimento. En un sentido bastante amplio por variable de respuesta se entiende la característica cuantitativa que contiene la información buscada como objetivo del experimento. Resulta así que el principal requisito que esta variable debe cumplir es que sea de carácter cuantitativo. Otro requisito impuesto a la variable de respuesta es que su valor pueda predecirse con cierta exactitud

predeterminada a partir de los valores tomados por los factores que afectan al objeto de investigación. La relación que pone de manifiesto la dependencia entre la variable de respuesta y dichos factores es llamada *modelo matemático* del experimento. Cada diseño experimental posee un modelo matemático propio. Para resolver el modelo y procesar los datos arrojados por su solución se requiere, por lo general, del establecimiento de ciertos supuestos. El modelo matemático queda resuelto cuando se han estimado los parámetros desconocidos que aparecen en su formulación y entre los cuales se incluye el efecto de los tratamientos. La técnica estadística que se utiliza en esta fase es la conocida como Método de Estimación de Cuadrados Mínimos. El procesamiento que se hace a las soluciones del modelo y a los datos del experimento, en general, persigue fundamentalmente, los siguientes objetivos:

- i) Determinar si existe diferencia significativa entre los efectos de los tratamientos.*

Este objetivo se logra mediante la utilización de la técnica estadística llamada Análisis de Varianza (ANVA). Los supuestos que esta técnica utiliza son Aditividad, Linearidad, Normalidad, Independencia, y Homogeneidad.

- ii) Estimar puntualmente y/o los intervalos, los efectos y las diferencias entre los efectos de los tratamientos.*

En el caso de que exista diferencia significativa entre los efectos de los tratamientos, resulta conveniente —algunas veces—, estimarlos ya sea puntualmente y/o por intervalos. Las ventajas de la estimación por intervalos sobre la estimación puntual, es ampliamente discutida en los textos introducidos de estadística.

- iii) Comparar los efectos de los tratamientos.*

Se utilizan en la práctica comúnmente —y de acuerdo a las necesidades del experimento—, dos tipos de análisis estadístico para comparar los efectos de los tratamientos cuando

su diferencia ha sido declarada significativa, a saber: Comparar los efectos de los tratamientos cuando su diferencia ha sido declarada significativa, a saber: Comparación Múltiple de Medias y Contrastes.

En el presente trabajo, se discuten ambas técnicas para el diseño de análisis de Covarianza en Bloques al Azar, ya que ésta es la técnica que se utilizó para el experimento. Los supuestos que se hacen para aplicar cualquiera de estos análisis, son esencialmente los mismos que se requieren para realizar el ANVA. A continuación se resumen las bondades de la técnica de Diseños Experimentales.

i) La información obtenida puede ser interpretada sin ambigüedad

Esto se logra mediante la identificación de las fuentes de variabilidad ajenas a los tratamientos de interés y mediante la separación de los efectos que estas fuentes de variabilidad ocasionan. Los efectos de los tratamientos de interés no se confunden, por consiguiente, con los efectos ocasionados por otras fuentes de variabilidad extrañas presentes durante la realización del experimento.

ii) El análisis de esta información permite efectuar pronósticos sobre los resultados que se obtendrían en situaciones similares a las que prevalecen durante la realización del experimento

Las conclusiones de un experimento son válidas exclusivamente para la población cuya muestra fue objeto de experimentación, sin embargo, si existe una población de naturaleza suficientemente similar a la que inicialmente fue objeto de estudio, entonces ella puede beneficiarse de las conclusiones del experimento inicial.

iii) Es posible medir el grado de certeza de las conclusiones que se hacen a partir de esta análisis

El grado de certeza de los pronósticos puede medirse en base

a la longitud de los intervalos de confianza estimados para los valores de predicción.

- iv) *Es posible medir el riesgo de tomar decisiones en base a los resultados del experimento*

La estadística provee de la técnica de verificación de hipótesis la que a su vez permite evaluar el riesgo de emitir conclusiones falsas. Por ejemplo, dada una hipótesis de interés, la Teoría de la Verificación de Hipótesis permite estimar el riesgo de aceptar esta hipótesis cuando su enunciado es falso y rechazarla cuando es verdadero.

- v) *Es posible determinar previamente el número de pruebas requeridas y, en la mayoría de los casos, disminuirlo sin afectar el grado en que se logran los objetivos del experimento*

En general, manteniendo constante uno de los riesgos que se mencionan en el inciso anterior, es posible disminuir el otro mediante el aumento del número de repeticiones. Puede también determinarse este número teniendo como datos los sesgos máximos permitidos. Lo anterior puede lograrse exclusivamente con el uso de las técnicas estadísticas. Haciendo uso de las técnicas desarrolladas especialmente para los Diseños Experimentales, es posible (mediante la distribución adecuada de las unidades experimentales y mediante restricciones a la aleatorización de los tratamientos), disminuir el número de pruebas manteniendo constante ambos riesgos.

Las técnicas de diseños experimentales tienen, sin embargo, algunos inconvenientes, los principales siendo —desde un particular punto de vista—, la tecnicidad de su lenguaje y la sofisticación matemática que algunas veces requiere para su adecuada aplicación.

Diseño Experimental en Bloques al Azar

Se había señalado en líneas anteriores, a la aleatorización como uno de los principios básicos del diseño de experimentos. Se mencionó también que en ocasiones es conveniente restringir la aleatorización con el propósito de disminuir el error experimental. El bloqueo es, precisamente, una de las maneras de restringir la aleatorización y consiste en agrupar las unidades experimentales más similares entre sí en lo que en adelante llamaremos *Bloques*. Un bloque, por consiguiente, es un conjunto de unidades experimentales homogéneas.

La justificación del bloqueo es la siguiente: si las condiciones del campo experimental son tales que hacen imposible la eliminación de la presencia de pendientes físicas o gradientes de fertilidad, entonces en general, la completa aleatorización de los tratamientos a las unidades experimentales podría dar lugar a favorecer sistemáticamente un tratamiento con una condición experimental más favorable o desfavorable, poniéndolo en una clara ventaja (o desventaja, en su caso), con respecto a los demás tratamientos. Eso se puede evitar precisamente, mediante la formación de lo que se ha llamado bloques, es decir, conjuntos de unidades experimentales homogéneas en relación a la pendiente física o a gradientes de fertilidad y, mediante la restricción de aleatorizar los tratamientos a los bloques y no dentro de todo el campo experimental.

Cuando cada bloque es de tamaño tal que permite un número de unidades experimentales igual al número de tratamientos y, si como se ha dicho, aleatorizamos los tratamientos entre cada bloque, entonces el modelo matemático para un experimento así, admite la expresión (Montgomery, 1976).

$$Y_{ij} = \mu + \zeta_i + \gamma_j + \epsilon_{ij} \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, t \\ j = 1, \dots, b \end{array}$$

ó

$$Y_{ij} = \mu + (\mu_{i.} - \mu) + (\mu_{.j} - \mu) + (Y_{ij} - \mu_{i.} - \mu_{.j} + \mu)$$

ó

$$Y_{ij} - \mu = (\mu_{i.} - \mu) + (\mu_{.j} - \mu) + (Y_{ij} - \mu_{i.} + \mu_{.j} + \mu)$$

$Y_{ij} \equiv$ Observaciones de la respuesta del i -ésimo tratamiento en el bloque j .

$\mu \equiv$ Media global común a todos los tratamientos y bloques.

$\zeta_i \equiv$ Desviación de la respuesta media del i -ésimo tratamiento ($\mu_{i.}$) con respecto a $\mu \equiv$ efecto del i -ésimo tratamiento.

$\gamma_j \equiv$ Desviación con respecto a la media global de la respuesta media del j -ésimo bloque ($\mu_{.j}$) \equiv efecto bloque j .

$\epsilon_{ij} \equiv$ Error aleatorio motivado por todos aquellos factores no sujetos a control.

La solución de este modelo implica la estimación de los efectos de los tratamientos y de los bloques. Para realizar estas estimaciones generalmente se recurre al método de los Cuadrados Mínimos (Scheffé, 1959), que consiste en encontrar aquellos valores de $\mu_{i.} - \mu$ y $\mu_{.j} - \mu$ que minimizan la expresión:

$$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b [Y_{ij} - \mu - (\mu_{i.} - \mu) - (\mu_{.j} - \mu)]^2$$

Los estimadores de cuadrados mínimos de estas expresiones desafortunadamente no son únicos, restando ésto, calidad de los mismos; esto sin embargo, no es del todo desalentador, ya que la mayoría de las cantidades que interesan en la práctica, son funciones del tipo:

$$\Psi = \sum C_i \zeta_i + (\sum C_i) \mu$$

los cuales pueden estimarse en forma única, sustituyendo en vez de ζ_i y de μ cualquier estimador de cuadrados mínimos de los mismos (Scheffé, 1959). Más aún, se puede demostrar que el único estimador de cuadrados mínimos de

Ψ admite la expresión:

$$\hat{\Psi} = \sum c_i \bar{Y}_i$$

En el caso en que a la expresión de Ψ sucede que $\sum c_i = 0$ la función resultante es llamada contraste y se denota como c ó \hat{c} . \hat{c} admite por consiguiente la expresión:

$$\hat{c} = \sum c_i \bar{Y}_i, \quad \sum c_i = 0$$

Mediante supuestos empíricamente razonables impuestos al modelo tales como el de la nulidad del valor esperado de ϵ_{ij} , la homogeneidad de varianza y la no correlación entre tratamientos y observaciones, los estadísticos matemáticos han demostrado que (Scheffé, 1959):

- i) $\hat{\Psi}$ es un estimador insesgado de Ψ .
- ii) $\hat{\Psi}$ es el que tiene la menor varianza de entre las clases de todos los estimadores insesgados de Ψ .

Las anteriores propiedades de Ψ justifican en gran medida al método de Cuadrados Mínimos como método de estimación en los Diseños Experimentales. A pesar de esto, las propiedades anteriores son insuficientes cuando se intenta hacer inferencias sobre la significación de los efectos de los tratamientos, así como sobre el valor tomado por contrastes o funciones Ψ particulares.

Para continuar más adelante con el propósito de analizar el modelo que se está estudiando, es necesario agregar a la serie de supuestos que sobre ϵ_{ij} se han hecho, el supuesto de normalidad. Este supuesto se justifica básicamente con el auxilio del teorema del Límite Central (Méndez, 1976). En efecto, el error experimental según se ha afirmado, es la suma de los efectos de todos aquellos factores que no se han controlado en el modelo, y el Teorema del Límite Central afirma, precisamente, que bajo determinadas circunstancias, la suma normalizada de un gran conjunto de variables tiende a distribuirse normal (0,1) a medida en que el número de sumandos crece (Rao, 1965).

La serie de supuestos que se han introducido permiten ahora:

- i) Verificar si existe diferencia significativa entre los efectos de los tratamientos.
- ii) Determinar intervalos de confianza para Ψ .
- iii) Verificar hipótesis sobre Ψ .

El método más ampliamente utilizado para llevar a cabo el inciso i) es la utilización del así llamado Análisis de Varianza. Este método originalmente ideado por Fisher (1947), consiste en descomponer la variación total presente en las observaciones (medida por $\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b (Y_{ij} - \bar{Y}_{..})^2$), en la variación debido a estos tratamientos ($\sum \sum (Y_{i.} - \bar{Y}_{..})^2$), la variación debida a los bloques ($(\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b Y_{.j} - \bar{Y}_{..})^2$) y la variación debida al Error Experimental. Simbólicamente, esto se escribe (Hicks, 1974):

$$S_{CT} = SC_{TR} + SC_{BL} + SC_{ER}$$

en donde:

SC_T = Suma de Cuadrado Total

SC_{TR} = Suma de Cuadrado de Tratamiento

SC_{BL} = Suma de Cuadrado de Bloque

SC_{ER} = Suma de Cuadrado del Error Experimental

Cada suma de cuadrados tiene asociados con ellos sus grados de libertad, es decir, el número de funciones independientes de los Y_{ij} , $1 \leq i \leq t$, $1 \leq j \leq b$, que intervienen en su formación. Dividiendo cada suma de cuadrados por sus grados de libertad, se obtiene una estimación de la varianza σ^2 de la población. La partición de los grados de libertad es aquí la siguiente:

$$n - 1 = (b - 1) + (t - 1) + (b - 1)(t - 1)$$

$$\text{total} = \text{bloques} + \text{tratamiento} + \text{error}$$

Se puede probar que si se mantienen los supuestos a que se han hecho referencia y si la hipótesis de nulidad de efectos es verdadera, entonces cada suma de cuadrados que constituyen las variaciones en que se descompone la variación total cuando se divide por sus grados de libertad —llamadas cuadrados medios—, son independientes y distribuidas χ^2 , poseyendo como grados de libertad las correspondientes a la suma de cuadrados en cuestión (Montgomery, 1976). Esto implica que estadísticos tales como CM_{TR}/CM_{ER} esté distribuida $F_{t-1, (b-1)(t-1)}$ en el caso de que la hipótesis de nulidad de efectos sea verdadera.

Por otra parte, se puede demostrar que el estadístico $F = \frac{CM_{TR}}{CM_{ER}}$ tiende a tomar valores grandes a medida que nos alejamos de la veracidad de la hipótesis nula. Para esto basta con observar que:

$$E(CM_{TR}) = \sum \zeta_i^2 + \sigma^2 \quad (\text{Montgomery, 1976})$$

$$E(CM_{ER}) = \sigma^2$$

De estas consideraciones se desprende la siguiente prueba de nivel $100(1 - \sigma)\%$ para verificar la hipótesis $H_0: \zeta_1 = \zeta_2 = \dots = \zeta_t$ v.s. $H_1 = \zeta_i \neq \zeta_j$ para algún i y j :

$$\text{Rechazar } H_0 \text{ si } \frac{CM_{TR}}{CM_{ER}} > F_{t-1, (b-1)(t-1), 1 - \alpha}$$

Los cálculos para realizar esta prueba se facilitan utilizando el cuadro 1 llamado TABLA DE ANVA. En ella se visualiza también la partición de la variabilidad total que condujo a la construcción del estadístico de prueba.

Cuadro 1. Tabla de ANVA para un diseño experimental en bloques al azar.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Estadístico F	F
Bloques	$b - 1$	$\sum_{j=1}^b \frac{Y_{.j}}{t} - \frac{\bar{Y}_{..}^2}{bt}$	$\frac{SC_b}{SC_t}$		
Tratamientos	$t - 1$	$\sum_{i=1}^b \frac{Y_{i.}}{b} - \frac{\bar{Y}_{..}^2}{bt}$	$\frac{SC_{tr}}{SC_t}$	$\frac{CM_{tr}}{CM_{er}}$	$F_{t-1, (b-1)(t-1), - \alpha}$
Error	$(b-1)(t-1)$	$SC_t - SC_b - S_{tr}$	$\frac{SC_{er}}{SC_t}$		
Total	$tb - 1$	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b Y_{ij} - \frac{\bar{Y}_{..}^2}{bt}$			

Análisis de covarianza en el Diseño Bloques al Azar con una covariable: Contrastes Ortogonales.

Se seguirá utilizando la notación que se ha indicado en el párrafo anterior. Como resumen de lo ahí afirmado, se pueden enumerar los siguientes pasos a realizar en un Diseño de Experimentos.

i. Se diseña el modelo matemático adecuado al experimento y sus circunstancias.

ii. Se plantea la hipótesis

$$H_0: \zeta_1 = 0, \zeta_2 = 0, \dots, \zeta_t = 0$$

iii. Con ayuda del análisis de varianza, se establece una prueba de la hipótesis H_0 .

iv. Los datos que el experimento arroja son utilizados para efectuar la prueba de la hipótesis H_0 .

Ahora bien, si H_0 es rechazada, significa que el experimento arroja evidencia a favor de la alternativa $H_1: \zeta_i \neq 0$ para algún i , esto es, de acuerdo a los datos experimentales, algún tratamiento tiene efecto no nulo. En este caso, surge el problema de comparar los efectos de los diversos tratamientos. Por ejemplo, el experimentador puede estar interesado en probar la hipótesis

$$H: \zeta_1 = \frac{1}{2} (\zeta_2 + \zeta_3)$$

La hipótesis H , establece que, el efecto del tratamiento uno es igual al promedio de los efectos de los tratamientos dos y tres. Transponiendo los términos del lado derecho de la última ecuación, podemos escribir:

$$H: \zeta_1 - \frac{1}{2}\zeta_2 - \frac{1}{2}\zeta_3 = 0$$

Escrito de esta manera, la suma de los coeficientes de los efectos de tratamiento es $1 - \frac{1}{2} - \frac{1}{2} = 0$.

En general, el experimentador puede estar interesado en probar una hipótesis de la forma:

$$(*) \quad \begin{cases} H: c_1\zeta_1 + c_2\zeta_2 + \dots + c_t\zeta_t = 0 \\ \text{donde } c_1 + c_2 + \dots + c_t = 0 \end{cases}$$

Esta es una manera de comparar (o contrastar) los efectos de los diversos tratamientos.

La hipótesis H será llamada una *COMPARACION* entre los efectos de tratamiento.

En general, cada modelo matemático, es decir, cada diseño experimental tiene asociada una manera de efectuar una prueba referente a cualquier contraste en que el experimentador esté interesado. El estadístico de prueba se forma dividiendo una cantidad llamada *cuadrado medio del contraste* entre el *cuadrado medio del error*. Bajo las suposiciones de que H es válida, así como de independencia, normalidad e igualdad de las

varianzas de las variables de respuesta, el estadístico de prueba tiene la distribución F con un grado de libertad en el numerador y tantos grados de libertad en el denominador como el cuadrado medio del error.

El modelo lineal del Diseño Bloques al Azar con una variable

El modelo que se supone es el siguiente (Cochran, 1957):

$$Y_{ij} = \mu + \zeta_i + \gamma_j + \beta(X_{ij} - \bar{X}_{..}) + \varepsilon_{ij} \quad i = 1, \dots, t; j = 1, \dots, b \quad [1]$$

En [1], el subíndice i se refiere a tratamientos, mientras que j se refiere a bloques. Como se sugiere, el número de tratamientos es denotado por t y el número de bloques denotado por b , Y_{ij} es el valor de la variable de respuesta al aplicar el tratamiento i en el bloque j , μ es la "media general", ζ_i es el efecto del i -ésimo tratamiento, γ_j es el efecto del j -ésimo bloque, β es un coeficiente "de regresión" que nos sirve para tomar en cuenta el efecto del valor observado de la covariable sobre la variable de respuesta. Por supuesto X_{ij} es el valor observado de la covariable al aplicar el tratamiento i en el bloque j . ε_{ij} es el "error experimental" en la variable de respuesta Y_{ij} .

Sobre ε_{ij} se supone que son variables aleatorias que satisfacen

- i) ε_{ij} tiene distribución normal con media cero y varianza σ^2 .
- ii) Las variables ε_{ij} son independientes.

Sobre los parámetros ζ_1, \dots, ζ_t y $\gamma_1, \dots, \gamma_b$ se supone que:

$$\zeta_1 + \dots + \zeta_t = 0 \quad [2]$$

$$\gamma_1 + \dots + \gamma_b = 0 \quad [3]$$

Estimación de los parámetros del modelo

El primer problema que se presenta, es aprovechar los valores de las variables de respuesta Y_{ij} (y de la covariable X_{ij}) para estimar los

valores desconocidos de los parámetros del modelo. El método que se utiliza es de cuadrados mínimos (que bajo las hipótesis que se plantearon al describir el modelo, coincide con el método de Verosimilitud máxima).

De acuerdo a este método, las estimaciones de los parámetros son aquellos valores que minimizan.

$$\sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^t (Y_{ij} - \mu - \zeta_i - \gamma_j - \beta(X_{ij} - \bar{X}_{..}))^2 = S(\mu, \zeta_1, \dots, \zeta_t; \gamma_1, \dots, \gamma_b, \beta)$$

Para encontrar los valores de los parámetros que hacen mínima a la anterior suma de cuadrados, se deriva parcialmente respecto a cada parámetro y las derivadas se igualan a cero. Cualquier solución del sistema de ecuaciones lineales resultante (llamado sistema de ecuaciones normales), es un conjunto de estimadores de cuadrados mínimos de los parámetros desconocidos en el modelo. Sin embargo, tales soluciones no son únicas. Si observamos las condiciones [2] y [3], es natural pedir que las estimaciones satisfagan condiciones análogas. Pongamos un acento circunflejo sobre el parámetro para denotar su estimación obtenida por el método de cuadrados mínimos. Así, por ejemplo, $\hat{\mu}$ denota el estimador de cuadrados mínimos de μ . Con $\hat{\mu}$ esta notación, las condiciones análogas a [2] y [3] son:

$$\hat{\zeta}_1 + \dots + \hat{\zeta}_t = 0 \quad [4]$$

$$\hat{\gamma}_1 + \dots + \hat{\gamma}_b = 0 \quad [5]$$

Con estas restricciones adicionales, el sistema de ecuaciones normales posee ya solución única. Las soluciones están dadas por:

$$\left. \begin{aligned} \hat{\mu} &= \bar{Y}_{..} \\ \hat{\zeta}_i &= \bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{..} - \hat{\beta}(\bar{X}_{i.} - \bar{X}_{..}) \\ \hat{\gamma}_j &= \bar{Y}_{.j} - \bar{Y}_{..} - \hat{\beta}(\bar{X}_{.j} - \bar{X}_{..}) \\ \hat{\beta} &= \frac{E_{xy}}{E_{xx}} \end{aligned} \right\} \quad [6]$$

La notación que se emplea arriba es la normal en la teoría de los diseños experimentales. Por ejemplo:

$$\bar{Y}_{..} = \frac{1}{tb} \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^t Y_{ij}$$

$$E_{xy} = \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^t (Y_{ij} - \bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{.j} + \bar{Y}_{..})(X_{ij} - \bar{X}_{i.} - \bar{X}_{.j} + \bar{X}_{..})$$

$$E_{xx} = \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^t (X_{ij} - \bar{X}_{i.} - \bar{X}_{.j} + \bar{X}_{..})^2$$

En seguida se mencionan algunas propiedades de los estimadores dados en [6] que serán de utilidad: se refieren a las esperanzas y varianzas de esos estimadores:

$$\begin{aligned} E(\hat{\mu}) &= \mu \\ E(\hat{\beta}) &= \beta \\ \text{Var}(\hat{\beta}) &= \frac{\sigma^2}{E_{xx}} \end{aligned}$$

ahora, observe que:

$$Y_{ij} = \mu + \zeta_i + \beta(X_{ij} - \bar{X}_{..}) + \sum_{j=1}^b \varepsilon_{ij}/b$$

luego,

$$\begin{aligned} E(\hat{\zeta}_i) &= E(\bar{Y}_{i.}) - E(\bar{Y}_{..}) - (\bar{X}_{i.} - \bar{X}_{..}) E(\hat{\beta}) \\ &= \mu + \zeta_i + \beta(\bar{X}_{i.} - \bar{X}_{..}) - \mu - \beta(\bar{X}_{i.} - \bar{X}_{..}) \\ &= \zeta_i \end{aligned}$$

Como efectuar una prueba sobre una Comparación de efectos de tratamientos: Contrastes

Suponiendo que se desea probar la hipótesis:

$$\begin{aligned} H: c_1\zeta_1 + \dots + c_t\zeta_t &= 0 \\ c_1 + \dots + c_t &= 0 \end{aligned}$$

donde:

Del apartado anterior se desprende que:

$$E(\hat{\zeta}_i) = \zeta_i$$

entonces es claro que se define

$$c = c_1 \hat{\zeta}_1 + \dots + c_t \hat{\zeta}_t,$$

se tendrá que:

$$E(c) = c_1 E(\hat{\zeta}_1) + \dots + c_t E(\hat{\zeta}_t) = c_1 \zeta_1 + \dots + c_t \zeta_t$$

esto es, c es un estimador insesgado de $c_1 \zeta_1 + \dots + c_t \zeta_t$, y si la hipótesis H es cierta, $E(c) = 0$.

$$\begin{aligned} c &= \sum_{i=1}^t c_i (\bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{..} - \hat{\beta}(\bar{X}_{i.} - \bar{X}_{..})) \\ &= \sum_{i=1}^t c_i (\bar{Y}_{i.} - \hat{\beta}(\bar{X}_{i.} - \bar{X}_{..})) - \left(\sum_{i=1}^t c_i \right) \bar{Y}_{..} \\ &= \sum_{i=1}^t c_i (\bar{Y}_{i.} - \hat{\beta}(\bar{X}_{i.} - \bar{X}_{..})) \end{aligned}$$

Se ha visto que bajo la hipótesis H , $E(c) = 0$. Ahora se verá cual es la varianza de c . Primero se observa que c es a final de cuentas una combinación lineal de las variables Y_{ij} , las cuales de acuerdo a las hipótesis básicas del modelo tienen una varianza común.

Entonces la varianza de c es a final de cuentas un múltiplo de σ^2 .

$$\text{Var}(c) = V\sigma^2$$

el propósito es por lo tanto describir una forma para encontrar la cantidad V , esto puede hacerse como sigue:

Primero, se observa que, para cada $i = 1, \dots, t$,

$$\text{Cov}(Y_{i.}, \hat{\beta}) = 0 \quad [7]$$

a partir de [7] es posible obtener:

$$\begin{aligned} \text{Var}(\bar{Y}_{i.} - \hat{\beta}(\bar{X}_{i.} - \bar{X}_{..})) &= \text{Var}(\bar{Y}_{i.}) + (\bar{X}_{i.} - \bar{X}_{..})^2 \text{Var}(\hat{\beta}) - 2(\bar{X}_{i.} - \bar{X}_{..}) \text{Cov}(\bar{Y}_{i.}, \hat{\beta}) \\ &= \text{Var}(\bar{Y}_{i.}) + (\bar{X}_{i.} - \bar{X}_{..}) \text{Var}(\hat{\beta}) \quad (\text{use [7]}) \\ &= \frac{\sigma^2}{b} + (\bar{X}_{i.} - \bar{X}_{..})^2 \frac{\sigma^2}{E_{xx}} \end{aligned}$$

La última igualdad se debe a que $\text{Var}(Y_{i.}) = \frac{\sigma^2}{b}$ y $\text{Var}(\hat{\beta}) = \frac{\sigma^2}{E_{xx}}$, además, para $i \neq k$,

$$\begin{aligned} &\text{Cov}(\bar{Y}_{i.} - \hat{\beta}(\bar{X}_{i.} - \bar{X}_{..}), \bar{Y}_{k.} - \hat{\beta}(\bar{X}_{k.} - \bar{X}_{..})) \\ &= \text{Cov}(\bar{Y}_{i.}, \bar{Y}_{k.}) - \text{Cov}(\bar{Y}_{k.}, \hat{\beta})(\bar{X}_{k.} - \bar{X}_{..}) - \text{Cov}(\bar{Y}_{i.}, \hat{\beta})(\bar{X}_{i.} - \bar{X}_{..}) \\ &\quad + \text{Cov}(\hat{\beta}, \hat{\beta})(\bar{X}_{i.} - \bar{X}_{..})(\bar{X}_{k.} - \bar{X}_{..}) \end{aligned}$$

el primer término en la suma anterior es cero: esto se debe a que $\bar{Y}_{i.}$ y $\bar{Y}_{k.}$ son independientes. Los siguientes dos términos son cero a causa de [7].

Recordando que $\text{Var}(\hat{\beta}) = \text{Cov}(\hat{\beta}, \hat{\beta})$ se obtiene:

$$\text{Cov}(\bar{Y}_{i.} - (\bar{X}_{i.} - \bar{X}_{..}), \bar{Y}_{k.} - (\bar{X}_{k.} - \bar{X}_{..})) = \frac{(\bar{X}_{i.} - \bar{X}_{..})(\bar{X}_{k.} - \bar{X}_{..})}{E_{xx}} \sigma^2 \quad [9]$$

Luego,

$$\begin{aligned} \text{Var}(c) &= \text{Var} \sum_{i=1}^t c_i (\bar{Y}_{i.} - \hat{\beta}(\bar{X}_{i.} - \bar{X}_{..})) \\ &= \sum_{i=1}^t c_i^2 \text{Var}(\bar{Y}_{i.} - \hat{\beta}(\bar{X}_{i.} - \bar{X}_{..})) + \sum_{i \neq k} c_i c_k \text{Cov}(\bar{Y}_{i.} - \hat{\beta}(\bar{X}_{i.} - \bar{X}_{..}), \bar{Y}_{k.} - \hat{\beta}(\bar{X}_{k.} - \bar{X}_{..})) \\ &= \sum_{i=1}^t c_i^2 \left[\frac{\sigma^2}{b} + (\bar{X}_{i.} - \bar{X}_{..})^2 \frac{\sigma^2}{E_{xx}} \right] + \sum_{i \neq k} c_i c_k \frac{(\bar{X}_{i.} - \bar{X}_{..})(\bar{X}_{k.} - \bar{X}_{..})}{E_{xx}} \sigma^2 \end{aligned}$$

usando [8] y [9]:

$$= \frac{\sum_{i=1}^t c^2}{b} \sigma^2 + \left[\sum_{i=1}^t c_i (\bar{X}_{i.} - \bar{X}_{..}) \right]^2 \frac{\sigma^2}{E_{xx}}$$

esto es:

$$\text{Var}(c) = \left[\sum_{i=1}^t c_i^2/b + \left(\sum_{i=1}^t c_i (\bar{X}_{i.} - \bar{X}_{..}) \right)^2 / E_{xx} \right] \sigma^2 \quad [10]$$

La cantidad V que se busca es el coeficiente de σ^2 que aparece en [10].

Ahora, si la hipótesis H es cierta se tiene que:

$$c \sim N(0, V\sigma^2)$$

así:

$$c/\sqrt{V} \sigma \sim N(0,1) \quad \therefore \quad \frac{c^2}{V \sigma^2} \sim \chi_1^2$$

Luego, si la hipótesis H es cierta:

$$\frac{\frac{c^2}{V}}{\frac{\text{SCE}}{tb-t-b}} \sim F_1, tb-t-b$$

La cantidad c^2/V se llama *el cuadrado medio del contraste* mientras que $\text{SCE}/(tb-t-b)$ es el *cuadrado medio del error*.

Para probar la hipótesis H a un nivel de significación de $100\alpha\%$ se procede como sigue:

Usando los datos experimentales, se calcula el estadístico c y la cantidad V . En seguida se divide c/V entre el cuadrado medio del error y si el cociente es mayor que $F_1, tb - t - b$, la hipótesis H es rechazada: en otro caso la hipótesis H no se rechaza.

MATERIALES Y METODOS

3.1. DESCRIPCION DEL AREA GENERAL DE ESTUDIO

El presente estudio se llevó a cabo en el Rancho Demostrativo "Los Angeles", el cual se encuentra localizado en el Municipio de Saltillo, Coahuila, a 48 km al sur de la ciudad de Saltillo (Figura 2), a 34 km sobre la carretera Saltillo-Zacatecas y a 14 km hacia el oriente sobre un camino de terracería. Colinda con los ejidos de Carneros, Tanque de Emergencia, San Miguel, El Cercado y La Hedionda y una pequeña parte con propiedades privadas (De la Cruz et al., 1973).

Sus coordenadas geográficas son 25°02'12" a 25°08'51" Latitud Norte y 100°58'07" a 101°04'14" Longitud Oeste. Se encuentra ubicado justo en el límite Este del desierto Chihuahuense (Figura 3).

El Rancho Demostrativo "Los Angeles" tiene una forma irregular que asemeja un "cañón". Comprende 6279.35 has, con una altitud que varía desde los 2100 msnm hasta los 2400 msnm en las sierras más altas.

Geología

Geológicamente, el área data de las eras Mesozoica y Cenozoica, períodos Cretácico Inferior y Cenozoico Superior Clástico (COTECOCA, 1980). La estructura geológica principal es el anticlinal de Carneros con rumbo aproximado Este-Oeste, con decumbencia hacia el Norte (De la Cruz et al., 1973).

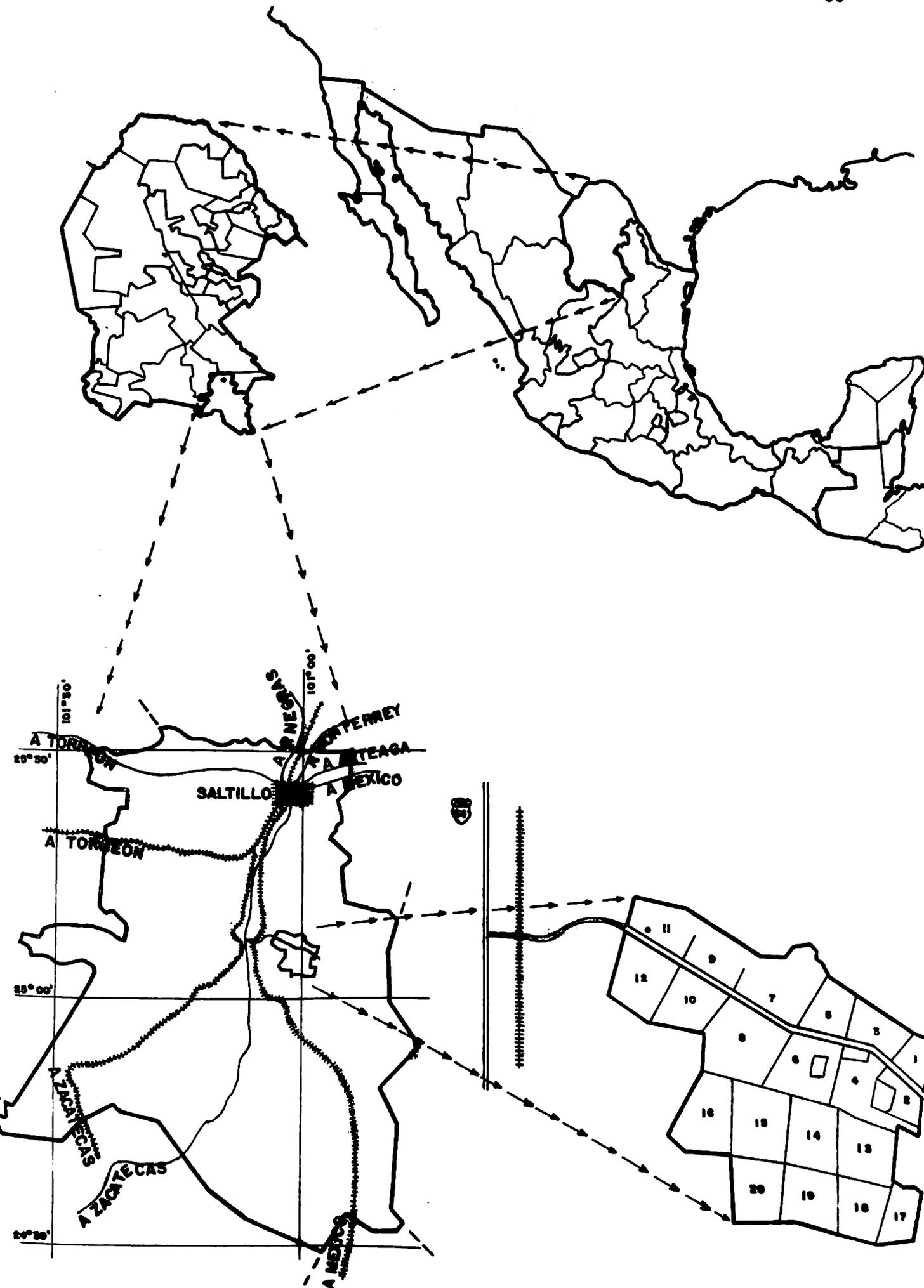


Figura 2. Localización geográfica del Rancho Demostrativo "Los Angeles"

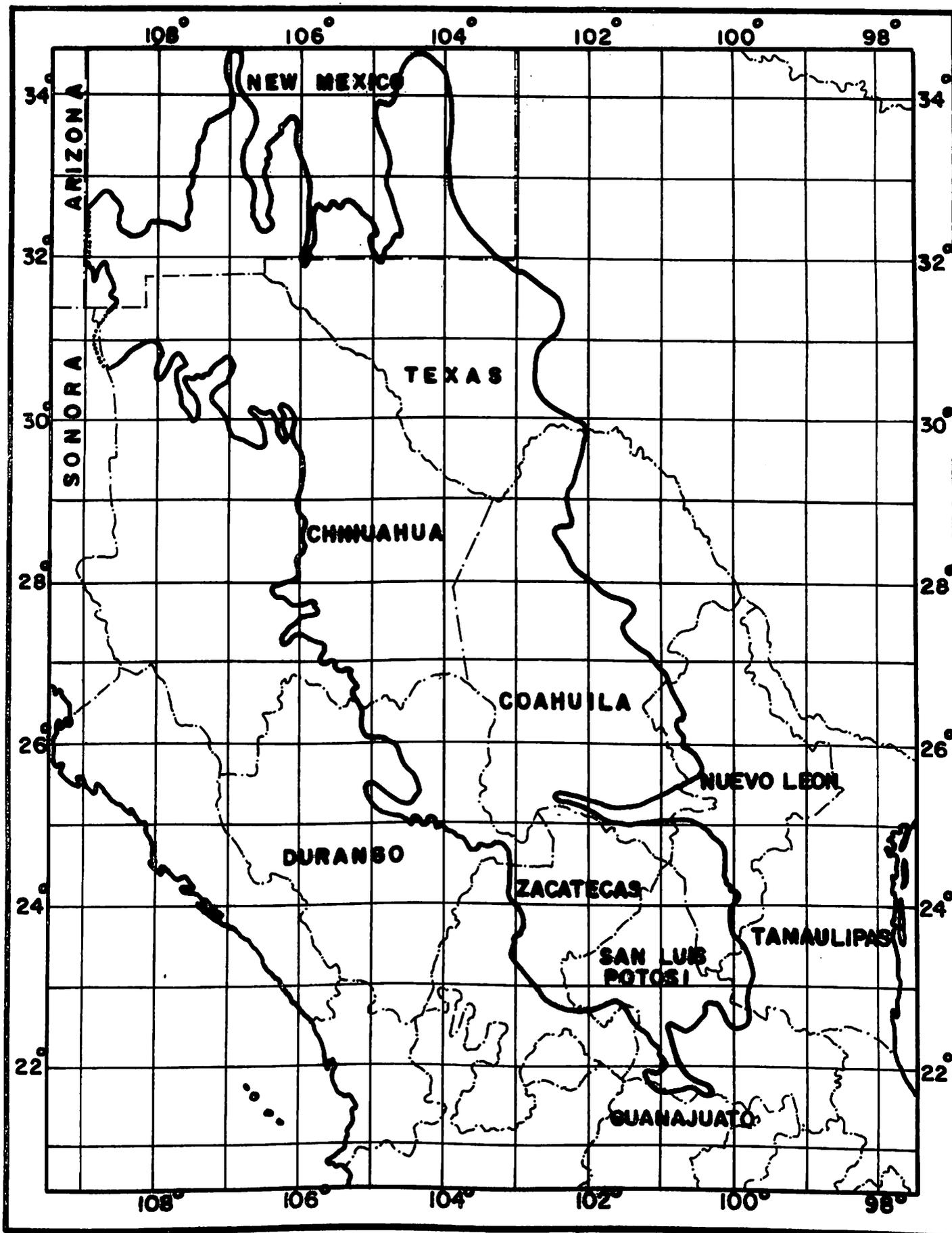


Figura 3. Mapa de la región del Desierto Chihuahuense (según Henrickson y Straw, 1976).

El rancho se encuentra cruzado en la posición Norte por un brazo de la Sierra La Leona; en el centro por la Sierra Los Angeles y en la porción sur por las Lomas de las Papas. Las tres presentan rumbo aproximado NO - SE.

Las sierras, cerros y lomas se encuentran todas constituidas por rocas sedimentarias calizas, mientras que los valles intermedios son suelos aluviales (CETENAL, 1970).

Hidrología

El área que comprende el rancho no es tocada por ninguna corriente superficial permanente. El nivel regional del agua es del orden de los 190 m de profundidad, pero debido a la escasez y necesidades de esto, aunque el costo sea alto, puede ser aprovechable (De la Cruz et al., 1973).

Climatología

Conforme a las cartas climáticas de CETENAL (1970), el rancho "Los Angeles" comprende dos tipos de climas, BWhw" (e) y BSokw"(e) el primero en la porción Oeste y el segundo en la porción Este, siguiendo la línea aproximada de limitación entre ambos, la isoyeta de los 300 mm.

Tipo de clima BWhw"(e). Este clima pertenece al grupo de climas secos, del tipo muy seco o desértico, semicálido con inviernos frescos, temperatura media anual entre 18 y 22°C y la del mes más frío 7.6°C, extremoso con oscilación térmica de medias mensuales entre 7 y 14°C (García, 1973), con régimen de lluvias de verano, pero que tienen canícula, es decir, una pequeña temporada menos húmedo en la mitad lluviosa del año, lo cual es importante desde el punto de vista biótico (García, 1973).

Tipo de clima BSokw"(e). Este clima pertenece al grupo de climas secos, del tipo seco o estepario, del subtipo más seco, con cociente p/t 22.9, templado con verano cálido, temperatura media anual entre 12 y 18°C

y las del mes más caliente 18°C (García, 1973), la oscilación térmica y el régimen de lluvias son iguales al caso anterior.

La estación meteorológica local, en la que se han tomado datos a partir de 1975, proporcionan los datos que se muestran en el cuadro 2.

Cuadro 2. Datos climáticos de la estación "Los Angeles" promedio de 1975-1983.

M e s	Temperatura media °C	Precipitación media mm
Enero	7.6	7.8
Febrero	9.5	11.9
Marzo	13.2	1.7
Abril	15.6	16.7
Mayo	16.5	40.7
Junio	18.1	36.3
Julio	17.5	55.1
Agosto	16.4	49.6
Septiembre	15.2	34.2
Octubre	13.1	23.1
Noviembre	9.8	14.3
Diciembre	8.6	16.4

A partir de estos datos se concluye que la temperatura media anual para un período de ocho años es de 13.4°C y que la precipitación promedio en ocho años es de 307.2 mm, sin embargo, y sobre todo en lo referente a la precipitación debe manejarse este dato con precaución debido al corto período con registros climatológicos que se tiene en el Rancho. El promedio concuerda con los datos aportados por CETENAL (1970), según la cual, la precipitación en el área del Rancho fluctúa entre las isoyetas de 200 y 350 mm.

Suelos

Los suelos de los valles corresponden a los suelos aluviales. Su profundidad varía desde dos hasta 15 m aproximadamente. Los suelos que existen sobre las laderas, coluviales de origen, difieren de los que se encuentran en los llanos porque el agua percolante tiende a moverse lateralmente en vez de hacerlo perpendicularmente a la superficie; siendo estos suelos los más susceptibles a la erosión. Por último, los suelos de la parte alta de la sierra, correspondiente al bosque de piñonero, son suelos forestales ricos en materia orgánica y humus (Sierra, 1980).

Vegetación

En el Rancho Demostrativo "Los Angeles" existen siete tipos de vegetación, estos fueron determinados de acuerdo a la forma de vida, tamaño de las formas de vida, forma y tamaño de las hojas y cobertura (Vásquez, 1973). Estos tipos de vegetación son los siguientes: pastizal mediano abierto, pastizal amacollado, matorral rosetófilo, izotal, matorral esclerófilo, bosque caducifolio y matorral de *Dasyllirion sp* con pastos amacollados.

3.2 AREA O PARCELA DE ESTUDIO

Para propósitos de este estudio, se seleccionó un área excluida para el ganado doméstico, de aproximadamente tres hectáreas, la cual está ubicada en la esquina Sur del potrero número 11 del Rancho Demostrativo "Los Angeles" (Figura 2). Esta área se encuentra fuertemente invadida por el *Flourensia cernua* D.C. (hojasén) por lo que su uso pecuario se ha visto limitado desde hace aproximadamente cuatro años. Con el fin de establecer las pruebas de control químico, se seleccionó un área de 6,600 m² (22% del total), suficientes para llevar a cabo las aplicaciones de los herbicidas en tres épocas, siendo éstas: Invierno, Primavera y Verano. El criterio de selección fue la uniformidad —en cuanto a densidad y altura— de los arbustos.

De los 6,600 m² seleccionados se delimitaron superficies de 1430 y 1040 m para realizar las aplicaciones de Invierno y Primavera respectivamente. Utilizando un tractor con cuchilla, se desmontó el área que circunda y divide las unidades experimentales en las que se aplicaron los tratamientos de Invierno. El área desmontada de aproximadamente tres metros de ancho fue aprovechada para efectuar la aplicación de herbicidas en la época de Verano, permitiendo así que ésta se hiciera sobre los rebrotes del hojaseñ. La delimitación de las unidades experimentales, para la aplicación de Primavera, por su parte, se hizo por medio de estacas, esta operación se llevó a cabo de manera tal que las unidades experimentales quedaron separadas por bandas de dos metros de ancho.

Una vez que las unidades experimentales quedaron completamente delimitadas, la configuración que presentan, se puede observar en la Figura 4. En dicha figura se puede apreciar una pendiente física poco pronunciada de 11% de Norte-Sur y de siete por ciento de Este-Oeste.

3.3. MATERIALES

Para la aplicación de los herbicidas, a excepción de los derivados del petróleo, se utilizó una bomba de mochila tipo Weed System Plot Sprayer serie TC, cuya fuente de presión proviene de un tanque conteniendo CO₂ líquido. Este aparato contiene un tanque de almacenamiento de herbicida con una capacidad de un galón (3.79 lts), la presión utilizada para todas las aplicaciones fue de 20 lb/pulg² en forma constante. El tipo de boquilla que se utilizó fue del tipo TK-5 en forma de abanico, provisto de un filtro de 50 mallas por cm²; además, para los tratamientos con Aceite Quemado y Diesel, se utilizó una bomba manual de mochila provista de una boquilla tipo Tee - Yet con un orificio cuyas medidas son 8004.

Por lo que corresponde a los herbicidas, se seleccionaron cinco de tipo orgánico, siendo éstos: Picloram, 2,4-DA, Dicamba, Glyphosate y 2,4,5-T; además se probaron tratamientos a base de Aceite Quemado + Diesel (derivados del petróleo). En total, fueron siete los productos utilizados, siendo sus principales características las siguientes:

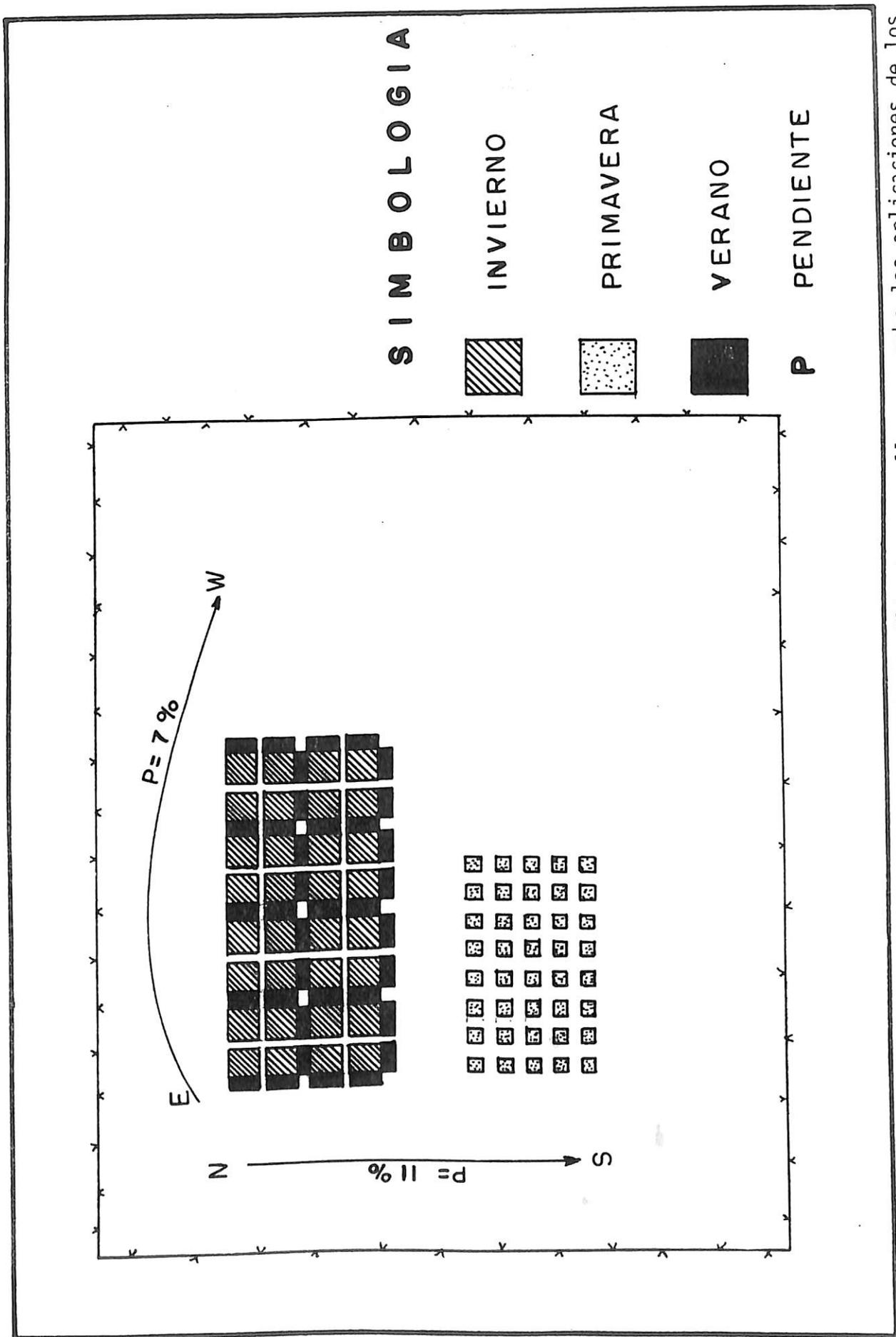
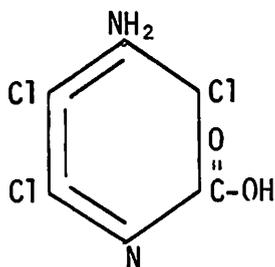


Figura 4. Configuración de las unidades experimentales utilizadas para llevar a cabo las aplicaciones de los productos herbicidas en las diferentes épocas de estudio.

PICLORAM

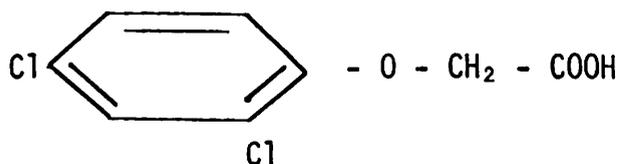
- a) Nombre común: Picloram, Acido picolínico
- b) Nombres comerciales: Tordon, Barlin, Basolin, Amdon
- c) Nomenclatura química: Ac. 4-amino-3,5,6-tricloropicolínico
- d) Fórmula molecular: $C_6H_3Cl_3N_2O_2$
- e) Fórmula estructural:



- f) Toxicidad: LD_{50} - 8200 mg/kg
- g) Propiedades físicas: Polvo blanco con olor a cloro. Sometido a temperaturas altas ($215^{\circ}C$) se descompone antes de fundir. Solubilidad en agua a $25^{\circ}C$: 430 ppm. Soluble en acetona y alcohol etílico y otros solventes orgánicos.
- h) Clasificación: Herbicida orgánico del grupo benzoles, selectivo, translocable apo-simplástico, aplicable en postemergencia, aplicado por vía aérea y/o terrestre (Vallentine, 1971; Anderson, 1977; Thomson, 1977).

2,4-DA

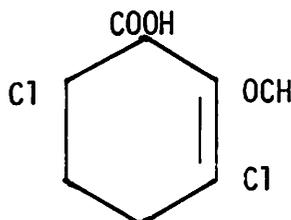
- a) Nombre común: 2,4-DA
- b) Nombres comerciales: DMA-4, Hierbamina, Phenox, Decamine, Emulsamine E-3, Fórmula 40, Esteron, Henda1, Estamine, Amoxone.
- c) Nomenclatura química: Ac. 2,4-diclorofenoxiacético amina.
- d) Fórmula molecular: $C_8H_6Cl_2O_3$
- e) Fórmula estructural:



- f) Toxicidad: LD₅₀ - 375 mg/kg
- g) Propiedades físicas: Sólido en forma de polvo blanco cristalino, con ligero olor fenólico. Punto de fusión: 130-140°C. Solubilidad en agua a 20.8°C: 620 ppm. Soluble en acetonas y alcohol etílico.
- h) Clasificación: Herbicida orgánico del grupo de los fenóxidos, selectivo, translocable simplástico, aplicado en postemergencia, aplicado por vía aérea y/o terrestre (Valentine, 1971; Weed Sci. Soc. Amer., 1974; Anderson, 1977; Thomson, 1977).

DICAMBA

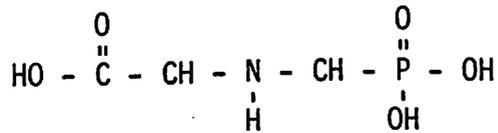
- a) Nombre común: Dicamba
- b) Nombres comerciales: Cambacide, Banvel, Velsical, Banex, Mediben, Mandak, Dianat, MDBA.
- c) Nomenclatura química: Ac. 2-metoxi-3,6-dicloro benzoico.
- d) Fórmula molecular: C₈H₆Cl₂O₃
- e) Fórmula estructural:



- f) Toxicidad: LD₅₀ - 1040 mg/kg
- g) Propiedades físicas: Sólido blanco, cristalino, inodoro. Punto de fusión: 114-116°C. Solubilidad en agua a 25°C: 0.45 g c/100 ml. Soluble en alcohol etílico.
- h) Clasificación: Herbicida orgánico del grupo benzoico, selectivo, translocable apo-simplástico, aplicable en preemergencia y post-emergencia, aplicado por vía aérea y/o terrestre (Chang y Born, 1971; Weed Sci. Soc. Amer., 1974).

GLYPHOSATE

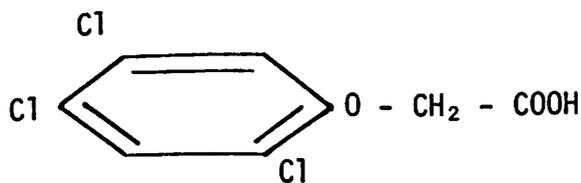
- a) Nombre común: Glyphosate, Glifosato
- b) Nombres comerciales: Faena, Roudup
- c) Nomenclatura química: N -(fosfometil) glicina
- d) Fórmula molecular: $C_3O_7H_8NP$
- e) Fórmula estructural:



- f) Toxicidad: LD_{50} - 4320 mg/kg. Causa mucha irritación en los ojos
- g) Propiedades físicas: Sólido blanco, inodoro. Punto de fusión, 200°C . Solubilidad en agua a 20°C : 12,000 ppm
- h) Clasificación: Herbicida orgánico derivado de los alifáticos clorados, selectivo, translocable apo-simplástico, aplicable en postemergencia, aplicado por vía aérea (Sprankel et al., 1975; Thomson, 1977).

2,4,5-T

- a) Nombre común: 2,4,5-T
- b) Nombres comerciales: Arbustol, Arbustasa, Arbuzol, 2,4,5-T Inter, Esteron 50T, 2,4,5-T 50, Decamine 4T, Reddon, Tributon, Esteron 245, Trinoxol, Phortox
- c) Nomenclatura química: Ac. 2,4,5-triclorofenoxiacético
- d) Fórmula molecular: $C_8H_5Cl_3O_3$
- e) Fórmula estructural:



- f) Toxicidad: LD_{50} - 300 mg/kg
- g) Propiedades físicas: Polvo blanco. Punto de fusión: $145 - 155^{\circ}\text{C}$. Solubilidad en agua a 30°C : 238 ppm. Soluble en alcohol etílico y otros solventes orgánicos

- h) Clasificación: Herbicida orgánico del grupo fenóxido, selectivo, translocable simplástico, aplicable en postemergencia, aplicado por vía aérea y/o terrestre (Schmutz, 1971; Scifres *et al.*, 1973; Weed Sci. Soc. Amer., 1974).

DERIVADOS DEL PETROLEO

- a) Nombre común: Destilados del petróleo, aceites herbicidas
- b) Nombres comerciales: Esso Azadon, S-1, YPF
- c) Nomenclatura química: Grupo de compuestos derivados de la destilación del petróleo, constituidos por mezclas complejas de hidrocarburos saturados e insaturados.
- d) Fórmula molecular: Varía de acuerdo con los hidrocarburos constituyentes.
- e) Fórmula estructural: Los compuestos con hidrocarburos saturados presentan uniones simples entre los átomos de carbono y pueden ser de cadena abierta o cíclicos, los insaturados tienen uniones dobles entre los átomos de carbono y también son de cadena abierta o cíclicos.
- f) Toxicidad: Son considerados como no tóxicos, causa algunas molestias en la piel e irritación en los ojos.
- g) Propiedades físicas: El punto de ebullición varía según el peso molecular y la viscosidad de los hidrocarburos; las fracciones que hierven entre 150 y 275°C son las más fitotóxicas. El peso específico varía generalmente entre 0.73 y 0.95, aunque hay compuestos aromáticos de elevado peso molecular que tienen una densidad mayor que uno.
- h) Clasificación: Herbicidas orgánicos del grupo de los hidrocarburos, no selectivos, de contacto, aplicados en preemergencia y postemergencia, aplicable por vía aérea y/o terrestre (Thomson, 1977; Mársico, 1980).

El análisis de datos se desarrolló básicamente en las siguientes dos máquinas de cómputo electrónico.

- i. Computadora modelo Digital PDP 11/34 del Centro de Estadística y Cálculo de la U.A.A. "A.N."
- ii. Computadora modelo Sinclair ZX 81.

En la primera de ellas se utilizaron los programas Two Way, Prueba de Medias y Covar, además del paquete Stat 11. Se desarrollaron además, análisis especiales para el cálculo de ciertos datos estadísticos que se mencionan en la siguiente sección. Estos análisis fueron corridos en la computadora Sinclair ZX 81.

3.4. METODOLOGIA

Como se mencionó anteriormente, la selección del área de estudio y la agrupación de las unidades experimentales en parcelas, se llevaron a cabo de manera tal, que permitieran la realización de aplicaciones en tres épocas, Invierno, Primavera y Verano. Las razones de seleccionar solo tres épocas de aplicación, y no más, fueron fundamentalmente limitaciones económicas y de tiempo. Antes de delimitar las superficies en las que se deberían realizar estas aplicaciones, se procedió a muestrear el área de estudio invadida por Flourensia cernua, procediendo a estimar la densidad relativa del estrato arbustivo por unidad de superficie mediante un muestreo aleatorio simple, utilizando para este fin la técnica descrita por Mueller-Dombois y Ellenberg (1974) o sea el *Punto Central del Cuadrante*. El resultado que se obtuvo fue el siguiente: 10,769.3 plantas/ha (C.V. 0.36814).

Del análisis de estos datos resultó factible el sugerir la utilización de parcelas de cinco a 12 m de ancho por cinco a 12 m de largo, es decir, parcelas con 25 a 150 m² —aproximadamente— de superficie, que nos permitirán obtener, también aproximadamente, entre 25 y 160 plantas por parcela. La utilización de parcelas de este tamaño nos permite lograr homogeneidad de las parcelas en cuanto a la pendiente física presente en el área de estudio, permitiendo también un adecuado aprovechamiento en la utilización de cada tratamiento al poder aplicar un mismo producto a un

número suficientemente grande de plantas vecinas. La agrupación de las unidades experimentales en parcelas, facilitó, además, el aislamiento de los efectos de los tratamientos entre plantas que recibieron tratamientos diferentes.

El área experimental posee una superficie de 6600 m², por lo que si consideramos el tamaño factible de las parcelas, deducimos que podríamos realizar entre cuatro y cinco repeticiones por tratamiento, el cual es un número de repeticiones clásicamente utilizado en experimentos similares (Bovey *et al.*, 1969; Scifres *et al.*, 1979). Finalmente y considerando todo lo hasta ahora discutido —incluyendo el hecho de la existencia de una pendiente física del 11% de Norte-Sur—, se hizo la delimitación de parcelas discutida anteriormente, la cual está gráficamente representada en la figura 4. Esta delimitación de parcelas también tomó en cuenta la necesidad de bloquear el efecto de la pendiente a que se ha hecho referencia.

Los tratamientos aplicados en cada época fueron cambiados en función de los resultados que se obtuvieron en la primera aplicación (aplicación de invierno); de esta manera, los tratamientos de primavera y verano fueron similares (cuadro 3, 4 y 5) a excepción del tratamiento de Picloram + Diesel, el cual únicamente se aplicó en primavera.

La aplicación de la época de invierno se llevó a cabo en parcelas de 10 x 10 m (100 m²), enfocando la aplicación a la base del tallo, utilizando con este fin, un método descrito por Scifres (1980), denominado *astillado del tallo*. La aplicación en esta época se realizó el 26 de febrero de 1983.

En la época de primavera se utilizaron parcelas de 5 x 5 m (25 m²) y la aplicación se llevó a cabo bajo el mismo método utilizado en la época de invierno. La fecha de aplicación en esta época fue el 28 de mayo de 1983. Por lo que se refiere a la aplicación de la época de verano, ésta se efectuó en parcelas de 3 x 10 m (30 m²) dirigiéndose las aplicaciones a los rebrotes del hojasén a través de aplicaciones al follaje; en este caso, la fecha de aplicación fue el 23 de julio de 1983.

Cuadro 3. Tratamientos y dosis empleadas en la aplicación de invierno sobre *Flourensia cernua* D.C., en el Rancho Demostrativo "Los Angeles". 26 de Febrero de 1983.

Tratamiento	Dosis M.C./ha
Picloram + Diesel	1 + 100
Glyphosate + 2,4-DA	4 + 0.5
Picloram	5
Dicamba + Glyphosate	1.5 + 6
Aceite Quemado + Diesel	1 : 3
Glyphosate + 2,4-DA	6 + 1
Picloram + Diesel	1.5 + 100
Testigo	No aplicación

Cuadro 4. Tratamientos y dosis empleadas en la aplicación de primavera sobre *Flourensia cernua* D.C., en el Rancho Demostrativo "Los Angeles". 28 de Mayo de 1983.

Tratamiento	Dosis M.C./ha
2,4,5-T + Dicamba	1.5 + 1.5
Glyphosate + 2,4-DA	6 + 0.5
Picloram	5
Dicamba + Glyphosate	2.5 + 6
Dicamba + Glyphosate	1.5 + 6
Aceite Quemado + Diesel	1 : 3
Picloram + Diesel	1.5 + 100
Testigo	No aplicación

Cuadro 5. Tratamientos y dosis empleadas en la aplicación de verano sobre *Flourensia cernua* D.C., en el Rancho Demostrativo "Los Angeles" 23 de Julio de 1983.

Tratamiento	Dosis M.C./ha
2,4,5-T + Dicamba	1.5 + 1.5
Glyphosate + 2,4-DA	6 + 0.5
Picloram	5
Dicamba + Glyphosate	2.5 + 6
Dicamba + Glyphosate	1.5 + 6
Aceite Quemado + Diesel	1 : 3
Testigo	No aplicación

Las características del terreno que hemos descrito nos condujeron a la utilización de un diseño en bloques completamente al azar, con el fin de bloquear —según se dijo anteriormente—, el efecto de la pendiente del terreno.

En cada parcela que formaba parte del bloque, existía al momento de aplicar los tratamientos, un diferente número de plantas vivas. Con el fin de separar el efecto que dicho número de plantas podría ocasionar sobre el número de plantas vivas después de aplicados los tratamientos, se decidió considerar el número de plantas vivas al inicio del experimento (plantas vivas iniciales) como covariable. De esta manera y congruentes con lo discutido anteriormente sobre el efecto de la pendiente, se decidió analizar nuestros resultados bajo un *análisis de covarianza en bloques al azar*. El análisis de covarianza es una técnica que se desarrolló precisamente para analizar los casos en que los valores tomados por la variable de respuesta dependen de los valores tomados por otra variable presente en cada unidad experimental, la cual es llamada *covariable* (Cochran, 1957). En resumen, la técnica estadística utilizada para probar la hipótesis de nulidad de los efectos de los tratamientos, en cada una de las aplicaciones fue: análisis de covarianza en bloques al azar.

El modelo estadístico-matemático que se considera en este estudio, es por consiguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \zeta_i + \rho_j + \beta(X_{ij} - \bar{X}_{..}) + \epsilon_{ij} \quad 1 \leq i \leq t, 1 \leq j \leq b$$

en donde:

μ \equiv media general común a todos los tratamientos, bloques y valores de la covarianza.

ζ_i \equiv efecto del i -ésimo tratamiento.

ρ_j \equiv efecto del j -ésimo bloque.

X_{ij} \equiv valor que toma la covariable en el j -ésimo bloque cuando se ha aplicado el i -ésimo tratamiento.

$\bar{X}_{..}$ \equiv promedio aritmético de los valores de la covariable.

β \equiv parámetro que denota la pendiente de la recta $Z_{ij} = \mu + \beta(X_{ij} - \bar{X}_{..})$, en donde $Z_{ij} = Y_{ij} - \zeta_i - \gamma_{jj}$ (Este parámetro mide la influencia de la covariable en la variable de respuesta Y_{ij}).

ϵ_{ij} \equiv término de error aleatorio.

Y_{ij} \equiv observación realizada en el bloque "j" correspondiente al tratamiento "i".

Los estimadores de los parámetros que intervienen en este modelo, así como las propiedades estadísticas del mismo bajo determinados supuestos de regularidad, fueron obtenidos en la sección 2.8., debido a ésto, a continuación solo se repetirán las propiedades y resultados que son necesarios para facilitar la exposición de la metodología estadística seleccionada:

Supuestos del modelo

$$\epsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2); \quad \epsilon_{ij} \text{ independientes}; \quad \sum C_i = \sum \rho_j = 0$$

Estimadores de los parámetros del Modelo

$$\hat{\sigma} = \frac{SC_{\epsilon}}{bt - \zeta - b}; \quad \hat{\beta} = \frac{E_{xy}}{E_{xx}}; \quad \hat{\mu} = \bar{Y}_{..}; \quad \hat{\zeta}_i = \bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{..} - \hat{\beta}(\bar{X}_{i.} - \bar{X}_{..})$$

$$\hat{\gamma}_j = \bar{Y}_{.j} - \bar{Y}_{..} - \hat{\beta}(\bar{X}_{.j} - \bar{X}_{..}); \quad \hat{\sigma}_{\hat{\beta}} = \frac{\hat{\sigma}^2}{E_{xx}}$$

$$\hat{\zeta}_i - \hat{\zeta}_j = \bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{.j} - \hat{\beta}(\bar{X}_{i.} - \bar{X}_{.j})$$

en donde:

$$\bar{Y}_{..} \equiv \frac{1}{tb} \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b Y_{ij}; \quad E_{xy} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b (Y_{ij} - \bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{.j} + \bar{Y}_{..})(X_{ij} - \bar{X}_{i.} - \bar{X}_{.j} + \bar{X}_{..})$$

$$E_{xx} = \sum_{j=1}^t \sum_{i=1}^b (X_{ij} - \bar{X}_{i.} - \bar{X}_{.j} + \bar{X}_{..})^2$$

Distribución de los estadísticos de prueba

$$\hat{\beta} \sim (\beta, \hat{\sigma}_{\hat{\beta}})$$

$$\frac{\sum_{i=1}^t c_i (Y_{i.} - \hat{\beta}(\bar{X}_{i.} - \bar{X}_{..}))}{\left[\sum_{i=1}^t \frac{c}{b} + \frac{\sum_{i=1}^t c_i (\bar{X}_{i.} - \bar{X}_{..})^2}{E_{xx}} \right]^{\frac{1}{2}}} \sim N(0, 1) \quad \sigma$$

en donde:

$$\sum_{i=1}^t c_i = 0$$

Las hipótesis

$$H_0: \zeta_1 = \dots = \zeta_t = 0$$

v.s.

$$H_1: \zeta_i \neq 0 \quad \text{para alguna } i, i \leq 1 \leq t$$

$$H_0: \beta = 0$$

v.s.

$$H_1: \beta \neq 0$$

se prueban con el auxilio de las así llamadas tablas de ANVA, cuyo modelo fue anteriormente presentado (Sección 2.8.). La hipótesis $H_0: \zeta_1 = \dots = \zeta_t = 0$ se rechaza cuando en la tabla de ANVA el valor de F_c es mayor a $F_{t-1, bT-b-t; \alpha}$ de la misma manera, la hipótesis $H_0: \beta = 0$ se rechaza cuando el valor de F_c en la tabla de ANVA es mayor a $F_{t-1, (b-1)(t-1); \alpha}$. El rechazo de la primera de estas hipótesis dió pauta para afirmar que existe evidencia estadística suficiente (significancia al $100\alpha\%$), de presentarse diferencias entre los efectos de los tratamientos, el rechazo de la segunda de dichas hipótesis, por su parte, nos arroja evidencia estadística sobre la influencia *lineal* de la covariable sobre la variable de respuesta, y nos justifica, por consiguiente, la utilización del Análisis de Covarianza. Por lo tanto las hipótesis que se deben probar en el caso de

rechazar la hipótesis de nulidad de efectos ($H_0: \zeta_1 = \dots = \zeta_t = 0$), son las definidas por las siguientes relaciones:

Aplicación de Invierno:

$$H_0: \zeta_5 - \frac{1}{3}\zeta_1 - \frac{1}{3}\zeta_3 - \frac{1}{3}\zeta_7 \geq 0 \quad \text{v.s.} \quad H_1: \zeta_5 - \frac{1}{3}\zeta_1 - \frac{1}{3}\zeta_3 - \frac{1}{3}\zeta_7 < 0$$

$$H_0: \zeta_4 - \frac{1}{2}\zeta_2 + \frac{1}{2}\zeta_6 \geq 0 \quad \text{v.s.} \quad H_1: \zeta_4 - \frac{1}{2}\zeta_2 - \frac{1}{2}\zeta_6 < 0$$

$$H_0: \zeta_5 - \frac{1}{5}\zeta_1 - \frac{1}{5}\zeta_2 - \frac{1}{5}\zeta_3 - \frac{1}{5}\zeta_4 - \frac{1}{5}\zeta_5 \geq 0 \quad \text{v.s.} \quad H_1: \zeta_1 - \frac{1}{5}\zeta_2 - \frac{1}{5}\zeta_3 - \frac{1}{5}\zeta_4 - \frac{1}{5}\zeta_5 - \frac{1}{5}\zeta_6 < 0$$

$$H_0: \zeta_4 - \frac{1}{3}\zeta_1 - \frac{1}{3}\zeta_3 - \frac{1}{3}\zeta_7 \geq 0 \quad \text{v.s.} \quad H_1: \zeta_4 - \frac{1}{3}\zeta_1 - \frac{1}{3}\zeta_3 - \frac{1}{3}\zeta_7 < 0$$

$$H_0: \zeta_3 - \frac{1}{3}\zeta_1 - \frac{1}{3}\zeta_4 - \frac{1}{3}\zeta_6 \geq 0 \quad \text{v.s.} \quad H_1: \zeta_3 - \frac{1}{3}\zeta_2 - \frac{1}{3}\zeta_4 - \frac{1}{3}\zeta_6 < 0$$

$$H_0: \zeta_8 - \frac{1}{7}\zeta_1 - \dots - \frac{1}{7}\zeta_7 \leq 0 \quad \text{v.s.} \quad H_1: \zeta_8 - \frac{1}{7}\zeta_1 - \dots - \frac{1}{7}\zeta_7 > 0$$

$$H_0: \zeta_1 - \zeta_7 \leq 0 \quad \text{v.s.} \quad H_1: \zeta_1 - \zeta_7 > 0$$

$$H_0: \zeta_2 - \zeta_6 \leq 0 \quad \text{v.s.} \quad H_1: \zeta_2 - \zeta_6 > 0$$

Aplicación de Primavera:

$$H_0: \zeta_1 - \frac{1}{2}\zeta_4 - \frac{1}{2}\zeta_5 \leq 0 \quad \text{v.s.} \quad H_1: \zeta_1 - \frac{1}{2}\zeta_4 - \frac{1}{2}\zeta_5 > 0$$

$$H_0: \zeta_1 - \frac{1}{7}\zeta_2 - \dots - \frac{1}{7}\zeta_8 \leq 0 \quad \text{v.s.} \quad H_1: \zeta_1 - \frac{1}{7}\zeta_2 - \dots - \frac{1}{7}\zeta_8 > 0$$

$$H_0: \zeta_6 - \frac{1}{2}\zeta_3 - \frac{1}{2}\zeta_7 \geq 0 \quad \text{v.s.} \quad H_1: \zeta_6 - \frac{1}{2}\zeta_3 - \frac{1}{2}\zeta_7 < 0$$

$$H_0: \zeta_4 - \zeta_5 \leq 0 \quad \text{v.s.} \quad H_1: \zeta_4 - \zeta_5 > 0$$

$$H_0: \zeta_3 - \frac{1}{3}\zeta_4 - \frac{1}{3}\zeta_5 - \frac{1}{3}\zeta_7 \leq 0 \quad \text{v.s.} \quad H_1: \zeta_3 - \frac{1}{3}\zeta_4 - \frac{1}{3}\zeta_5 - \frac{1}{3}\zeta_7 > 0$$

$$H_0: \zeta_8 - \frac{1}{7}\zeta_1 - \dots - \frac{1}{7}\zeta_7 \geq 0 \quad \text{v.s.} \quad H_1: \zeta_8 - \frac{1}{7}\zeta_1 - \dots - \frac{1}{7}\zeta_7 < 0$$

$$H_0: \zeta_7 - \frac{1}{2}\zeta_6 - \frac{1}{2}\zeta_3 \leq 0 \quad \text{v.s.} \quad H_1: \zeta_7 - \frac{1}{2}\zeta_6 - \frac{1}{2}\zeta_3 > 0$$

$$H_0: \zeta_2 - \frac{1}{3}\zeta_1 - \frac{1}{3}\zeta_4 - \frac{1}{3}\zeta_5 \geq 0 \quad \text{v.s.} \quad H_1: \zeta_2 - \frac{1}{3}\zeta_1 - \frac{1}{3}\zeta_4 - \frac{1}{3}\zeta_5 < 0$$

Aplicación de Verano:

$$\begin{array}{ll}
 H_0: \zeta_1 - \frac{1}{2}\zeta_4 - \frac{1}{2}\zeta_5 \leq 0 & \text{v.s.} \quad H_1: \zeta_1 - \frac{1}{2}\zeta_4 - \frac{1}{2}\zeta_5 > 0 \\
 H_0: \zeta_1 - \frac{1}{6}\zeta_2 - \dots - \frac{1}{6}\zeta_7 \leq 0 & \text{v.s.} \quad H_1: \zeta_1 - \frac{1}{6}\zeta_2 - \dots - \frac{1}{6}\zeta_7 > 0 \\
 H_0: \zeta_6 - \zeta_3 \geq 0 & \text{v.s.} \quad H_1: \zeta_6 - \zeta_3 < 0 \\
 H_0: \zeta_1 - \frac{1}{2}\zeta_5 - \frac{1}{2}\zeta_2 \leq 0 & \text{v.s.} \quad H_1: \zeta_1 - \frac{1}{2}\zeta_5 - \frac{1}{2}\zeta_2 > 0 \\
 H_0: \zeta_7 - \frac{1}{6}\zeta_1 - \dots - \frac{1}{6}\zeta_6 \geq 0 & \text{v.s.} \quad H_1: \zeta_7 - \frac{1}{6}\zeta_1 - \dots - \frac{1}{6}\zeta_6 < 0 \\
 H_0: \zeta_6 - \frac{1}{3}\zeta_1 - \frac{1}{3}\zeta_4 - \frac{1}{3}\zeta_5 \leq 0 & \text{v.s.} \quad H_1: \zeta_6 - \frac{1}{3}\zeta_1 - \frac{1}{3}\zeta_4 - \frac{1}{3}\zeta_5 > 0 \\
 H_0: \zeta_2 - \zeta_3 \geq 0 & \text{v.s.} \quad H_1: \zeta_2 - \zeta_3 < 0
 \end{array}$$

La definición y distribución de los contrastes en base a las cuales se construyeron las anteriores relaciones son mencionadas en la sección 2.8, por lo que no se profundizará en ellas. Aquí bastará recordar que sus regiones de aceptación son:

$$\frac{\frac{c^2}{\sqrt{v}}}{\sqrt{\frac{SC_E}{tb-t-b}}} < t_{tb-t-b, \alpha} \quad \delta \quad \frac{\frac{c^2}{\sqrt{v}}}{\sqrt{\frac{SC_E}{tb-t-b}}} > t_{tb-t-b, \alpha}$$

dependiendo de la forma en que se haya definido el contraste y la hipótesis nula, respectivamente. Por ejemplo, en el caso de la aplicación de invierno y considerando la segunda hipótesis, la región de rechazo de H_0 es:

$$\frac{\bar{Y}_{4.} - \bar{Y}_{..} - \hat{\beta}(\bar{X}_{4.} - \bar{X}_{..}) - \frac{1}{2}[Y_{2.} + \bar{Y}_{6.} - 2\bar{Y}_{..} - \hat{\beta}(\bar{X}_{2.} - \bar{X}_{..}) - \hat{\beta}(\bar{X}_{6.} - \bar{X}_{..})]}{\frac{(\frac{1}{2})^2 + 1 + (\frac{1}{2})^2}{b} + \frac{[\frac{1}{2}(\bar{X}_{1.} - \bar{X}_{..}) + (\bar{X}_{4.} - \bar{X}_{..}) + \frac{1}{2}(\bar{X}_{6.} - \bar{X}_{..})]^2}{E_{xx}}} < t_{tb-t-b, \alpha}$$

$$\sqrt{\frac{SC_E}{tb-t-b}}$$

de aquí resulta que el riesgo de aceptar cada una de las hipótesis alternativas, cuando las correspondientes hipótesis nulas son ciertas, es α .

Para cumplir otro objetivo del trabajo, o sea el de analizar el efecto fitotóxico de los tratamientos a través del tiempo; se realizaron cuatro evaluaciones cualitativas para cada aplicación realizada éstas en las fechas indicadas en el cuadro 6.

Cuadro 6. Fecha de las evaluaciones cualitativas llevadas a cabo en las aplicaciones de invierno, primavera y verano sobre Flourensia cernua D.C. en el Rancho Demostrativo "Los Angeles"

Evaluación número	Aplicación de Invierno	Aplicación de Primavera	Aplicación de Verano
1	26 de marzo de 1983	28 de junio de 1983	23 de agosto de 1983
2	26 de abril de 1983	28 de julio de 1983	23 de sept. de 1983
3	27 de mayo de 1983	28 de agosto de 1983	23 de octubre de 1983
4	26 de junio de 1983	28 de sept. de 1983	23 de nov. de 1983

El método de evaluación utilizado se basó en una escala que, para la evaluación visual de control de malezas, fue propuesto por la European Weed Research Council (EWRC) (Burriel et al., 1976). Dicha escala es mostrada en el cuadro 7, pudiendo observarse un alto grado de complejidad en su manejo, ocasionando por ello —desde un particular punto de vista—, los siguientes inconvenientes:

- i) Requiere de evaluadores bastante experimentados.*
- ii) Tiene demasiados grados lo que da lugar —incluso en los evaluadores con experiencia—, a un alto riesgo de error en la asignación de calificación.*
- iii) Su gran número de grados provoca gran variación en las observaciones.*

Con el fin de simplificar la asignación de calificaciones al daño en el arbusto, se ha propuesto un método de evaluación visual cuyas escalas aparecen en el cuadro 8. La escala propuesta evita las inconveniencias

Cuadro 7. Escala EWRC (European Weed Research Council), para evaluaciones visuales (cualitativas) del comportamiento de herbicidas en el control de malezas (Tomado de Burriol et al., 1976).

Grado	Efecto sobre la maleza	Grado de control
1	Muerte completa	Muerte completa
2	Daños muy elevados	Muy buen control
3	Daños elevados	Buen control
4	Daños bastante elevados	Suficiente en la práctica
5	Daño regular	Medio
6	Síntomas leves	Regular
7	Síntomas ligeros	Pobre
8	Síntomas muy ligeros	Muy pobre
9	Sin efecto	Sin efecto

Cuadro 8. Escala para la evaluación visual (cualitativa) del comportamiento de herbicidas utilizados en el presente estudio.

Grado	Efecto sobre el arbusto	Grado de control
0	No efecto aparente	Sin efectos
1	Síntomas leves	Pobre
2	Daño regular	Bueno
3	Daño severo	Muy bueno
4	Muerte total	Control total

del método de la EWRC a que se han hecho referencia.

Además de considerar las evaluaciones basadas en las escalas del cuadro 8, el análisis estadístico del efecto fitotóxico a través del tiempo se realizó bajo los siguientes supuestos:

- i) La variable aleatoria Y_{ij} que representa la calificación que mide el efecto fitotóxico provocado por el tratamiento "i" en el bloque "j", para cada evaluación y épocas, está distribuido $\sim N(\mu_j, \sigma^2)$.
- ii) Las observaciones Y_{ij} son independientes entre bloques y entre tratamientos, es decir Y_{ij} , $1 \leq i \leq r$, $1 \leq j \leq b$, son independientes para cada evaluación y épocas.
- iii) La calificación que se da en la primera evaluación —para cada época de evaluación—, tiene como única fuente de variación extraña, al efecto del bloque.
- iv) La segunda, tercera y cuarta evaluación reciben, además de la influencia del bloque y tratamientos, el efecto lineal de las calificaciones obtenidas en la evaluación anterior.

De estos supuestos se desprende que con el fin de verificar si existe o no efecto de los tratamientos —medido en base a la escala del cuadro 8—, es necesario realizar:

- i) Un análisis de varianza en bloques al azar cuando se analizan los resultados de la primera evaluación de las diferentes épocas.
- ii) Un análisis de covarianza en bloques al azar cuando se analizan los resultados de la segunda, tercera y cuarta evaluación. Las covariables, en este caso, son las calificaciones obtenidas en las evaluaciones anteriores.

Si se detecta efecto de los tratamientos, en el sentido en que estamos analizando, se procede a determinar la evolución —en el tiempo—, del

efecto fitotóxico de los productos herbicidas para cada época de aplicación. Las hipótesis que se plantean en este caso son:

$$\begin{array}{cccc}
 H_0: \mu_0 \geq \mu_1 & H_0: \mu_1 \geq \mu_2 & H_0: \mu_2 \geq \mu_3 & H_0: \mu_3 \geq \mu_4 \\
 \text{v.s.} & ; & \text{v.s.} & ; & \text{v.s.} & ; & \text{v.s.} & * \\
 H_1: \mu_0 < \mu_1 & H_1: \mu_1 < \mu_2 & H_1: \mu_2 < \mu_3 & H_1: \mu_3 < \mu_4
 \end{array}$$

Aquí con $\mu_0, \mu_1, \mu_2, \mu_3$ y μ_4 se ha denotado, respectivamente, el efecto fitotóxico medido en el momento del establecimiento, y a los 30, 60, 90 y 120 días después de la aplicación de los productos químicos herbicidas. El rechazo de una hipótesis particular $H_0: \mu_i \geq \mu_{i+1}$, $i = 0, 1, 2, 3$, llevará a concluir que existe un incremento del efecto fitotóxico entre la i -ésima y la $(i + 1)$ -ésima evaluación. Teniendo en mente el supuesto de que los incrementos, entre evaluaciones consecutivas, son independientes, es decir, la variable aleatoria que representa el efecto en el i -ésimo tratamiento es independiente de la variable aleatoria que representa el efecto en el $(i + 1)$ -ésimo tratamiento. De esta manera, la hipótesis que aparece en la sección 1.3. de este trabajo será aceptada sí y solo sí se rechazan sucesivamente las cuatro hipótesis nulas anteriores. Si seleccionamos a " α " como el nivel de convianza para la prueba de hipótesis global (H_G):

$$H_G^0: \mu_0 \geq \mu_1, \mu_1 \geq \mu_2, \mu_2 \geq \mu_3, \mu_3 \geq \mu_4 \quad **$$

contra la alternativa:

$$H_G^1: \mu_0 < \mu_1 < \mu_2 < \mu_3 < \mu_4$$

entonces para cada prueba H individual de la relación (*), el nivel de confianza debe de ser $\alpha^{\frac{1}{4}}$. Cada una de estas pruebas se hacen utilizando un estadístico t dado por la expresión:

$$t = \frac{\bar{X}_i - \bar{X}_{i+1}}{\sqrt{\frac{S_i}{n_i} + \frac{S_{i+1}}{n_{i+1}}}}$$

el cual, bajo el supuesto $\mu_i = \mu_j$ y algunos supuestos de normalidad e independencia e igual varianzas de las poblaciones, se distribuye t de Student con $n_1 + n_2 + 2$ grados de libertad. Este estadístico tenderá a tomar valores grandes en el caso de que $\mu_i > \mu_j$ y valores pequeños en caso contrario, por lo que la región crítica para la prueba será la formada por los valores de t tales que:

$$t \leq t_{n_1+n_2, 1-\alpha}^{\frac{1}{2}} \quad ***$$

La hipótesis (***) será rechazada (i.e. se aceptará la hipótesis de que existe incremento gradual en el tiempo, del efecto fitotóxico de los herbicidas), si sucesivamente ocurre que, los valores calculados de t corresponden a los incrementos habidos en la primera, segunda, tercera y cuarta evaluación y satisfacen la selección (***).

Para satisfacer el tercero de los objetivos de este trabajo, se decidió seguir la siguiente metodología:

1. Separar los tratamientos que se repitieron en las tres épocas (con el fin de comparar sus efectos).
2. Realizar una comparación, mediante contrastes, entre los efectos de estos tratamientos, utilizando como parámetro de comparación las medias ajustadas, es decir, restando de los valores observados, los efectos de pendiente y covarianza.
3. Realizar una comparación de medias ajustadas entre los tratamientos que se repitieron solo dos épocas.

Las hipótesis en cuestión son las siguientes:

$$\begin{array}{lll}
 H_0: \mu_3 \leq \frac{\mu_1 + \mu_2}{2} & H_1: \mu_3 > \frac{\mu_1 + \mu_2}{2} & \text{(para los tratamientos que se repitieron las tres épocas).} \\
 H_0: \mu_3 \leq \mu_2 & H_1: \mu_3 > \mu_2 & \text{(para los tratamientos que se repitieron en primavera y verano).}
 \end{array}$$

La verificación de las anteriores se hará utilizando la misma técnica de contrastes que se llevó a cabo en la Metodología planteada para satisfacer el anterior objetivo.

Con el fin de lograr el último de los objetivos del presente estudio, se buscó en la literatura el concepto de eficiencia, considerando ésta como una medida que concilie el costo y la mortalidad ocasionada por los herbicidas. Dentro de la literatura revisada no fue posible encontrar un criterio que combine la mortalidad de plantas producida por un herbicida y su costo total de aplicación, en un solo número que pudiéramos llamar *eficiencia de un herbicida*; por esta razón se ha desarrollado en este trabajo una técnica que resuelve ciertos criterios de optimalidad, este problema, por supuesto, debe ser objeto de una investigación más profunda, así que el presente trabajo puede considerarse como una aportación inicial, pero de ninguna manera como un trabajo definitivo ó terminal.

En lo que sigue, M denota la proporción de plantas *no deseables* que resultan muertas después de la aplicación del herbicida, y c denota el *costo total por hectárea* requerido para la aplicación del herbicida (expresado en pesos/ha). Se denota por $E(M,c)$ la eficiencia de un herbicida que mata a una proporción M de plantas no deseables con el costo total c por hectárea. Antes de continuar, es conveniente mencionar como calcular M y C .

Para evaluar M , se cuenta el número de plantas no deseables antes de la aplicación del herbicida y se denota por N . Luego, se cuenta el número de plantas no deseables que han sido muertas después de la aplicación del herbicida y se denota por N_0 .

Entonces:

$$M = \frac{N_0}{N}$$

$$M = \frac{\text{Número total de plantas no deseables muertas después de la aplicación}}{\text{Número total de plantas no deseables antes de la aplicación}}$$

Si la distribución de las plantas no deseables en el terreno en que se aplica el herbicida, así como el efecto del mismo es aproximadamente

homogéneo, la proporción de plantas muertas en cada hectárea será aproximadamente constante e igual a M .

Para encontrar c , se calcula el costo total de aplicación del herbicida en el terreno y se divide entre el número de hectáreas que el terreno posee. Con ello se obtiene una expresión para $E(M,c)$.

Suponiendo que el herbicida es proporcionado gratuitamente, entonces $c = 0$. En estas condiciones es natural medir la eficiencia para la proporción de plantas muertas:

$$[1] \quad E(M,0) = M$$

así, si un herbicida es aplicado gratuitamente, su eficiencia está dada por M , esto es, por la proporción de plantas no deseables que resultan muertas como consecuencia de la aplicación del herbicida.

Ahora, es claro que si dos herbicidas producen la misma proporción de mortalidad (es decir, la misma M), el más eficiente es el que requiere de un menor costo:

$$[2] \quad E(M_1, c_1) > E(M_1, c_2) \quad \text{si} \quad c_1 < c_2$$

en otras palabras, para una misma M , la eficiencia debe disminuir a medida que aumenta el costo. Una manera de expresar esto es:

$$[3] \quad \frac{\partial}{\partial c} E(M,c) < 0$$

La condición [3] establece que la derivada de $E(M,c)$ respecto a c es negativa e implica que, para una misma M , la eficiencia disminuye a medida que aumenta c . Expresando de manera simple, se puede considerar que la derivada es [3] depende solo de c y de la eficiencia E .

$$[4] \quad \frac{\partial}{\partial c} E(M,c) = -K(c)E$$

donde $K(c)$ es una función positiva de c .

A partir de [4] y [1] se sigue que:

$$[5.1] \quad E(M,C) = M c^{-\int_0^C K(S)ds} \quad \delta$$

$$[5.2] \quad E(M,C) = M c^{-K(C)}$$

donde $K(C)$ denota la integral que aparece en la ecuación (5.1). Solo resta decir como calcular $K(C)$.

Si c toma valor grande, un aumento pequeño de c no debe disminuir mucho la eficiencia del herbicida: por ejemplo, si dos herbicidas producen la misma mortalidad (es decir, la misma M), y si el costo $c = \$ 10,000$ para el primero y $c = \$10,001$ para el segundo, es natural requerir que las eficiencias sean casi iguales, pues el aumento de \$ 1.00 es insignificante en relación a \$ 10,000.

Así, se puede decir que $E(M,C) \doteq E(M,C+1)$ cuando c toma grandes valores (el símbolo \doteq significa "aproximadamente igual"). Una manera de expresar lo anterior es requerir que:

$$[6] \quad \lim_{C \rightarrow 1} \frac{E(M,C+1)}{E(M,C)} = 1$$

recordando la ecuación [5.2] esto es lo mismo que:

$$[7] \quad \lim_{C \rightarrow 1} c^{-K(C+1) + K(C)} = 1$$

pero la ecuación [7] es equivalente a:

$$[8] \quad \lim_{C \rightarrow \infty} [K(C+1) - K(C)] = 0$$

Entre las funciones $K(C)$ que satisfacen [8], las más simples son aquellas de la forma:

$$[9] \quad K(C) = \alpha C^p \quad \text{donde } \alpha \text{ es una constante y } 0 < p < 1$$

Se puede seleccionar entonces $p = \frac{1}{2}$. Así, se propone para $K(C)$ la expresión:

$$[10] \quad K(C) = \alpha C^{\frac{1}{2}} = \alpha \sqrt{C} \quad \text{donde } \alpha \text{ es una constante.}$$

Luego, se obtiene la siguiente expresión para E .

$$[11] \quad E(M,C) = M e^{-\alpha \sqrt{C}}$$

Finalmente resta proponer el valor de α .

Suponga que un herbicida causa mortandad de 100%, es decir, $M = 1$. Por otro lado, el costo total de aplicación es de \$ 10,000 por hectárea. De acuerdo a la combinación de mortandad y costo que se ha propuesto (ecuación 11), se tiene que:

$$[12] \quad E = 1 \cdot e^{-\alpha \sqrt{10.000}} = e^{-100\alpha}$$

se ha mencionado que si el herbicida se aplica gratuitamente, la eficiencia se medirá solo por la mortalidad, en este caso 1. Como ahora $C = \$ 10,000$, la eficiencia debe ser menor que 1. El punto importante es, ¿Cuánto debe disminuir la eficiencia por el hecho de que el costo por hectárea es ahora \$ 10,000?. Conviene decir que la eficiencia es ahora de alrededor de 0.80 esto es, por el hecho de que el costo total de aplicación por hectárea es de \$ 10,000, la eficiencia disminuirá en alrededor de 20%. Si decimos:

$$[13] \quad \alpha = 0.002$$

se tendrá, que en el caso que nos ocupa:

$$[14] \quad E = e^{-100\alpha} = e^{-0.2} = 0.819$$

y la disminución de la eficiencia es de 18.1%.

En resumen, se propone la siguiente expresión para la eficiencia de un herbicida en términos de, la proporción de plantas muertas que produce (M) el herbicida y del costo total de aplicación por hectárea expresado en pesos (c).

$$[15] \quad E = M e^{-0.002 \sqrt{C}}$$

Finalmente se reitera que la expresión final [15] a que se ha llegado, es un primer intento de conjugar dos importantes aspectos de un herbicida en un solo criterio para calificarlo. Esos aspectos son

- i) Mortalidad entre plantas no deseables.*
- ii) Costo total de aplicación.*

La expresión [15] refleja solo el punto de vista del autor. De hecho, esta sección tiene como propósito fundamental, el llamar la atención hacia el tema y motivar posibles investigaciones futuras que reformen la ecuación [15] y la enriquezcan, considerando otros aspectos, como los daños ecológicos que el herbicida produce.

RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSION

En los cuadros 9, 10 y 11 se muestran los datos obtenidos durante el desarrollo del presente estudio, y se puede apreciar en los mismos las calificaciones que recibieron los tratamientos de la evaluación cualitativa que se realizó a los 30, 60, 90 y 120 días posteriores a la aplicación de los herbicidas para cada época de aplicación. Así mismo, se consignan el número de plantas vivas —del arbusto problema— antes de la aplicación de los tratamientos en cada parcela y, el número de plantas vivas después de 120 días de la aplicación de los mismos.

Con el objeto de hacer más claro y comprensible este capítulo, es conveniente dividirlo, para su análisis, en las siguientes secciones basadas en los objetivos de estudio, alrededor de las cuales se harán los comentarios pertinentes:

PRIMER OBJETIVO: Determinar cuál es el herbicida más efectivo para el control de hojaseñ (*Flourensia cernua* D.C.) en las épocas de invierno, primavera y verano.

Para lograr por completo este objetivo, como se mencionó en la sección 3.4, se decidió analizar nuestros resultados mediante un análisis de covarianza en bloques al azar; debido ésto a que, al momento de la aplicación de los tratamientos, —en las tres épocas—, se encontró un número diferente de plantas vivas. Por lo tanto, para separar el efecto que dicho número de plantas podría ocasionar sobre el número de plantas vivas después de aplicados los tratamientos, se decidió considerar el número de plantas vivas al inicio del trabajo como una covariable.

Cuadro 9. Evaluación cualitativa y cuantitativa de la aplicación de herbicidas realizada el 26 de Febrero de 1983 (Invierno) sobre el hojaseñ (*Flourensia cernua* D.C.), en el Rancho Demostrativo "Los Angeles."

Tratamientos	B		L		O		Q		U		E		S	
	I		II		III		IV		I		I		I	
	Eval. visual dfas	No. de plan- tas vivas												
1. Picloram + Diesel	1 1 2 2	84 72	0 2 3 3	72 51	1 3 0 0	77 63	1 1 3 3	82 68						
2. Glyphosate + 2,4-DA	1 1 1 1	100 99	2 3 2 2	58 54	1 2 1 1	58 58	2 3 1 2	49 46						
3. Picloram	2 2 1 1	69 68	1 2 1 1	40 40	2 3 1 0	64 64	0 1 1 2	80 78						
4. Dicamba + Glyphosate	2 4 3 3	73 48	2 3 3 3	67 34	2 3 3 3	84 52	3 3 3 3	100 67						
5. A. quemado + Diesel	1 2 1 2	74 72	0 1 2 2	58 56	1 2 1 2	51 51	2 3 2 3	33 30						
6. Glyphosate + 2,4-DA	0 1 0 0	86 85	0 0 1 1	68 65	2 3 2 2	46 44	0 0 0 1	64 64						
7. Picloram + Diesel	0 1 2 1	79 74	1 3 1 2	64 59	2 3 0 0	82 72	2 3 2 2	76 70						
8. Testigo	0 0 0 0	102 102	0 0 0 0	48 48	0 0 0 0	83 83	0 0 0 0	108 108						

I = Iniciales

F = Finales

Cuadro 10. Evaluación cualitativa y cuantitativa de la aplicación de herbicidas realizada el 28 de Mayo de 1983 (Primavera) sobre el hojaseñ (*Flourensia cernua* D.C.) en el Rancho Demostrativo "Los Angeles"

Tratamientos	B		L			O			Q			U			E			S		
	I			II			III			IV										
	Eval. visual dfas	No. de plan- tas vivas	No. de plan- tas vivas	Eval. visual dfas	No. de plan- tas vivas	No. de plan- tas vivas	Eval. visual dfas	No. de plan- tas vivas	No. de plan- tas vivas	Eval. visual dfas	No. de plan- tas vivas	No. de plan- tas vivas	Eval. visual dfas	No. de plan- tas vivas	No. de plan- tas vivas	Eval. visual dfas	No. de plan- tas vivas	No. de plan- tas vivas		
30 60 90 120	I F	I F	30 60 90 120	I F	I F	30 60 90 120	I F	I F	30 60 90 120	I F	I F	30 60 90 120	I F	I F	30 60 90 120	I F	I F			
1. 2,4,5-T + Dicamba	3 3 4 4	45 3	49 8	2 3 4 4	49 8	40 5	2 3 2 4	40 5	2 4 4 4	43 4	43 4	2 4 4 4	43 4	43 4	2 4 4 4	43 4	43 4	4 4		
2. Glyphosate + 2,4-DA	0 2 1 2	44 13	42 18	1 2 2 3	42 18	51 21	1 1 2 2	51 21	2 2 2 3	42 14	42 14	2 2 2 3	42 14	42 14	2 2 2 3	42 14	42 14	14 14		
3. Picloram	2 2 3 3	39 11	54 15	3 2 3 3	54 15	54 23	2 2 2 3	54 23	2 2 2 2	48 17	48 17	2 2 2 2	48 17	48 17	2 2 2 2	48 17	48 17	17 17		
4. Dicamba + Glyphosate	3 2 3 3	49 33	50 20	1 2 2 3	50 20	52 19	2 3 3 3	52 19	2 2 3 3	52 26	52 26	2 2 3 3	52 26	52 26	2 2 3 3	52 26	52 26	26 26		
5. Dicamba + Glyphosate	1 2 1 1	47 40	38 36	0 1 1 2	38 36	39 35	1 1 2 2	39 35	0 0 1 2	43 35	43 35	0 0 1 2	43 35	43 35	0 0 1 2	43 35	43 35	35 35		
6. A. quemado + Diesel	0 2 2 3	41 31	45 29	0 1 2 3	45 29	43 31	0 1 2 3	43 31	1 2 3 3	43 27	43 27	1 2 3 3	43 27	43 27	1 2 3 3	43 27	43 27	27 27		
7. Picloram + Diesel	0 1 3 3	53 40	47 39	0 1 1 2	47 39	38 30	0 2 1 2	38 30	0 1 1 2	51 42	51 42	0 1 1 2	51 42	51 42	0 1 1 2	51 42	51 42	42 42		
8. Testigo	0 0 0 0	50 50	46 46	0 0 0 0	46 46	47 47	0 0 0 0	47 47	0 0 0 0	49 49	49 49	0 0 0 0	49 49	49 49	0 0 0 0	49 49	49 49	49 49		

I = Iniciales

F = Finales

Cuadro 11. Evaluación cualitativa y cuantitativa de la aplicación de herbicidas realizada el 23 de Julio de 1983 (Verano) sobre el hojaseñ (*Flourensia cernua* D.C.) en el Rancho Demostrativo "Los Angeles"

Tratamientos	B		L		O		Q		U		E		S		V	
	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII	
	Eval. visual dfas	No. de plan- tas vivas														
1. 2,4,5-T + Dicamba	3 3 4 4	22 0	3 4 4 4	19 0	4 4 4 4	4 4 4 4	25 1	3 3 4 4	17 0	3 4 4 4	3 4 4 4	20 0				
2. Glyphosate + 2,4-DA	0 1 1 2	18 16	0 2 2 2	20 19	0 2 3 3	0 2 3 3	17 14	0 1 1 2	18 15	0 2 2 2	0 2 2 2	21 20				
3. Picloram	0 0 2 2	24 23	0 1 1 1	22 22	0 1 1 2	0 1 1 2	16 13	0 0 1 2	19 17	0 1 1 1	0 1 1 1	23 20				
4. Dicamba + Glyphosate	2 2 2 3	16 7	2 2 3 3	18 10	3 3 3 3	3 3 3 3	15 6	1 2 2 2	20 8	2 2 3 3	2 2 3 3	19 9				
5. Dicamba + Glyphosate	0 1 2 3	24 20	1 1 1 2	4 18	1 2 2 2	1 2 2 2	21 19	1 1 2 2	17 14	0 2 2 2	0 2 2 2	19 15				
6. Aceite quemado + Diesel	0 2 1 3	23 11	0 2 2 3	17 8	1 3 3 3	1 3 3 3	19 10	0 1 2 3	24 11	0 1 2 3	0 1 2 3	22 9				
7. Testigo	0 0 0 0	20 20	0 0 0 0	18 18	0 0 0 0	0 0 0 0	25 25	0 0 0 0	23 23	0 0 0 0	0 0 0 0	19 19				

I = Iniciales

F = Finales

El análisis de covarianza realizado para cada una de las épocas de aplicación nos muestra que existe una diferencia significativa entre el efecto de los herbicidas para cada una de las épocas de aplicación, al nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ (Cuadro 12, 13 y 14).

Por otra parte, para tratar de verificar el uso apropiado del análisis de covarianza, se llevó a cabo un diagrama de dispersión —para cada época de aplicación—, con el fin de ver el tipo de relación existente (cuadrática, lineal, exponencial, etc.) entre el número de plantas vivas al inicio y al final del estudio; los diagramas de dispersión, según se pueden apreciar en las figuras 5, 6 y 7 evidenciaron una relación lineal entre estas variables, por lo que el ajuste de covarianza se hizo del tipo lineal. La correcta aplicación del modelo lineal se ve ampliamente corroborada en las tablas de ANCOVA a que se ha hecho referencia.

Las hipótesis establecidas al principio del trabajo, y que se probaron al rechazar la hipótesis de nulidad de efectos de los tratamientos ($H_0: \zeta_1 = \dots = \zeta_2 = 0$) al nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, son las definidas en la sección 3.4; los contrastes se constituyeron en base a las hipótesis establecidas en la sección antes mencionada. Las pruebas realizadas para la comparación de los efectos de los tratamientos (contrastos) arrojaron los siguientes resultados, para cada época de aplicación:

Invierno

Para esta época, y siguiendo con el mismo orden de análisis de las hipótesis que se presentaron en la sección 3.4, los resultados fueron los siguientes:

- i) El Aceite Quemado + Diesel en una relación de 1:3 de M.C./ha fue inferior, en sus efectos, que el promedio de los tratamientos en base a Picloram + Diesel, Picloram y Picloram + Diesel en dosis de 1 + 100, 5 y 1.5 + 100 de M.C./ha respectivamente, al nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

Cuadro 12. Resultados del análisis de covarianza realizado para los datos cuantitativos obtenidos en la aplicación de herbicidas, efectuado el 26 de Febrero de 1983.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Medias y Productos			Ajustados para Regresión		
		x	xy	y	y	Grados de libertad	Cuadrado medio
Bloques	3	2959.094	2686.656	2442.844			
Tratamientos	7	3215.969	1557.906	3109.719			
Error	21	4373.656	4512.094	4752.906	97.993	20	4.900
Total	31	10548.719	8756.656	10305.469			
Tratamientos mas error	28	7589.625	6070.000	7862.625	3007.985	27	
Tratamientos ajustados					2909.992	7	415.713

Cuadro 13. Resultados del análisis de covarianza realizado para los datos cuantitativos obtenidos en la aplicación de herbicidas, efectuado el 28 de Mayo de 1983.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Medias y Productos			Ajustados para Regresión		
		x	xy	y	y	Grados de libertad	Cuadrado medio
Bloques	3	4.125	5.063	14.594			
Tratamientos	7	269.375	128.938	5358.969			
Error	21	452.375	239.188	363.156	236.689	20	11.839
Total	31	725.875	373.188	5736.719			
Tratamientos mas error	28	721.750	368.125	5722.125	5534.365	27	
Tratamientos ajustados					5297.676	7	756.811

Cuadro 14. Resultados del análisis de covarianza realizado para los datos cuantitativos obtenidos en la aplicación de herbicidas, efectuado el 23 de Julio de 1983.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Medias y Productos			Ajustados para Regresión		
		x	xy	y	y	Grados de libertad	Cuadrado medio
Bloques	4	12.471	5.543	9.543			
Tratamientos	6	51.771	55.429	1663.371			
Error	24	140.229	145.859	158.057	46.222	23	2.010
Total	34	254.971	206.829	1830.971			
Tratamientos mas error	30	242.000	201.286	1821.424	1654.007	29	
Tratamientos ajustados					1607.786	6	267.964

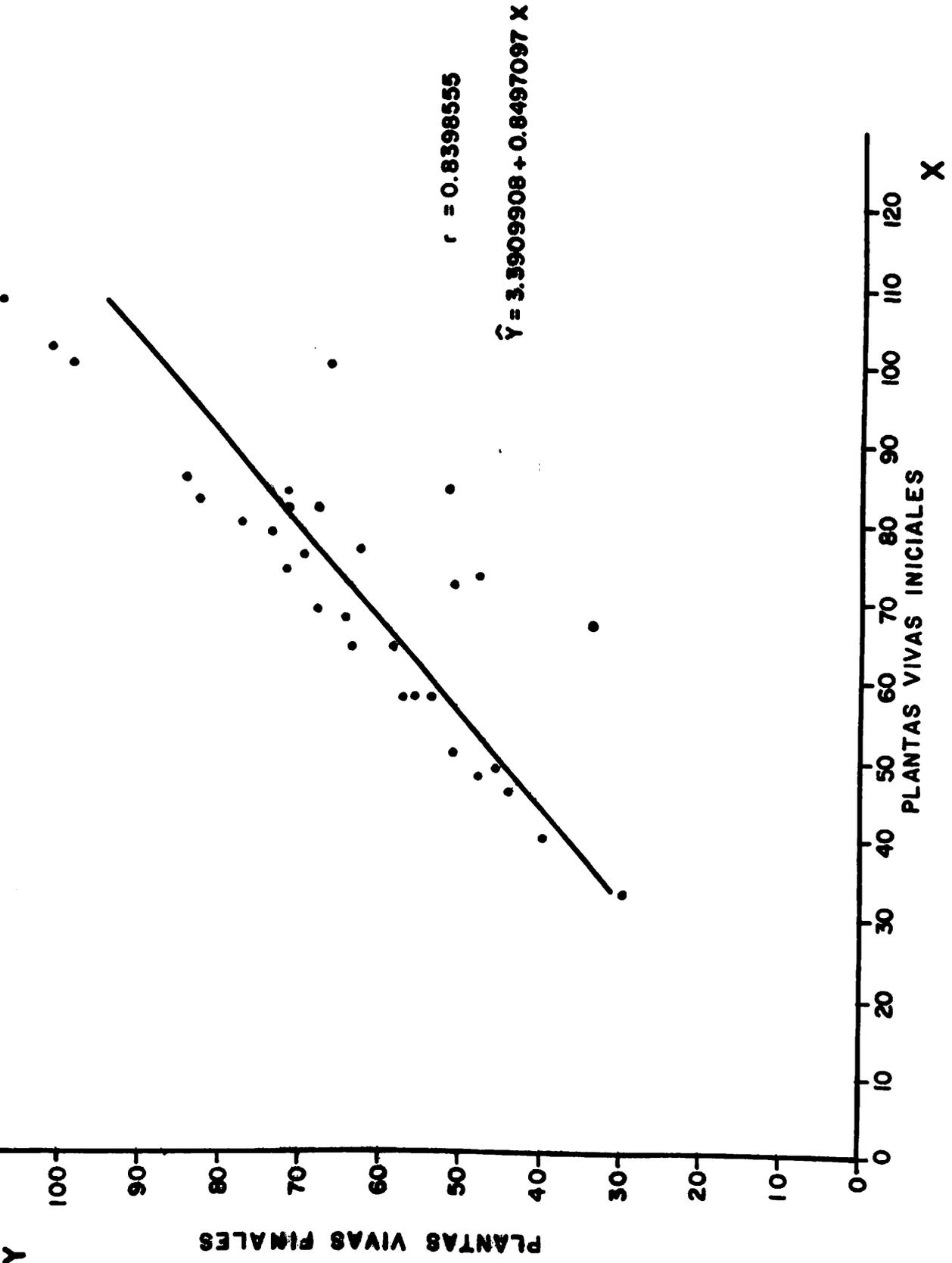
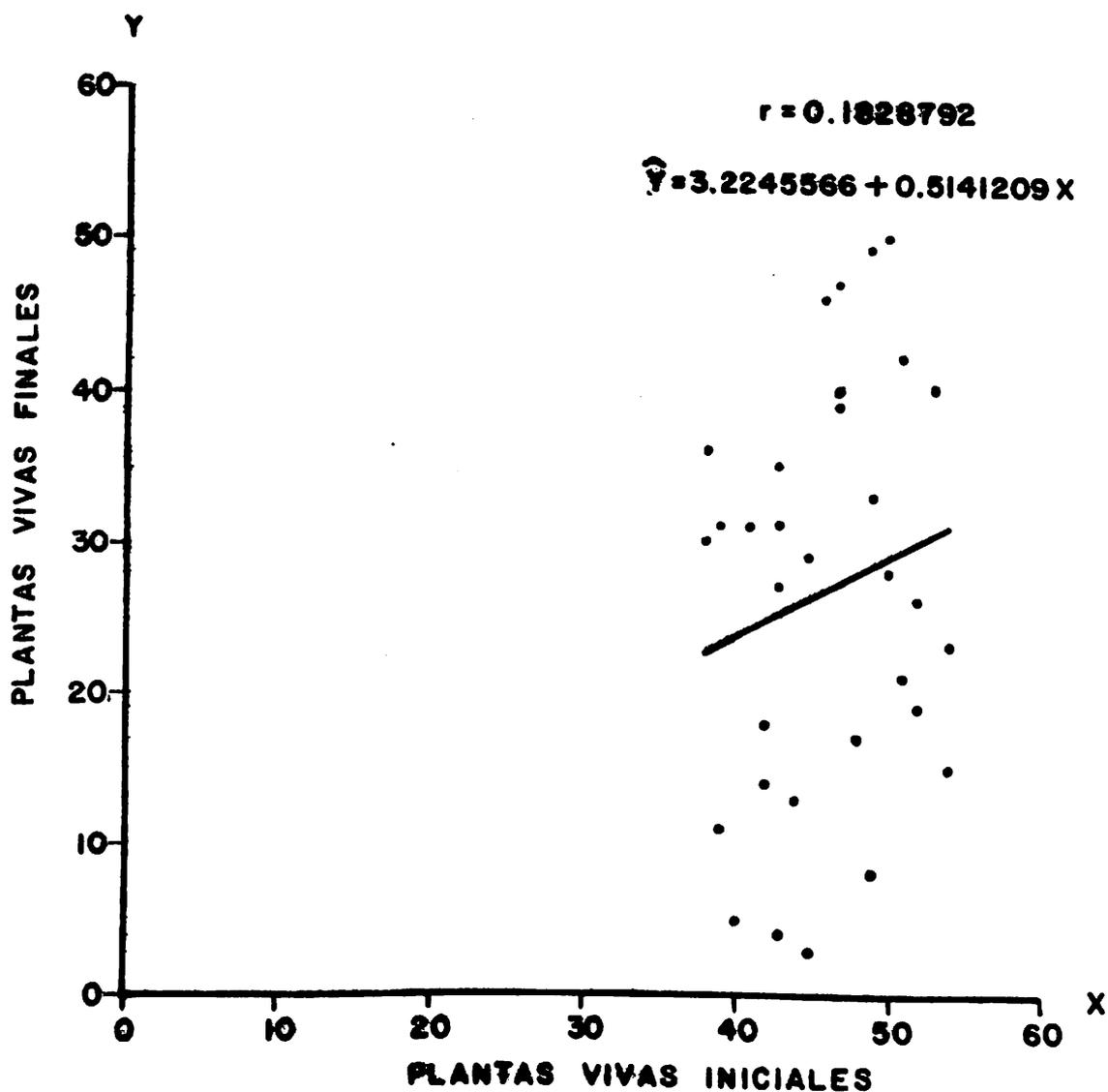


Figura 5. Diagrama de dispersión y recta de regresión que ponen en evidencia la dependencia del número de plantas vivas finales del número de plantas vivas iniciales en la época de invierno.



gura 6. Diagrama de dispersión y recta de regresión que ponen en evidencia la dependencia del número de plantas vivas finales -- del número de plantas vivas iniciales en la época de primavera.

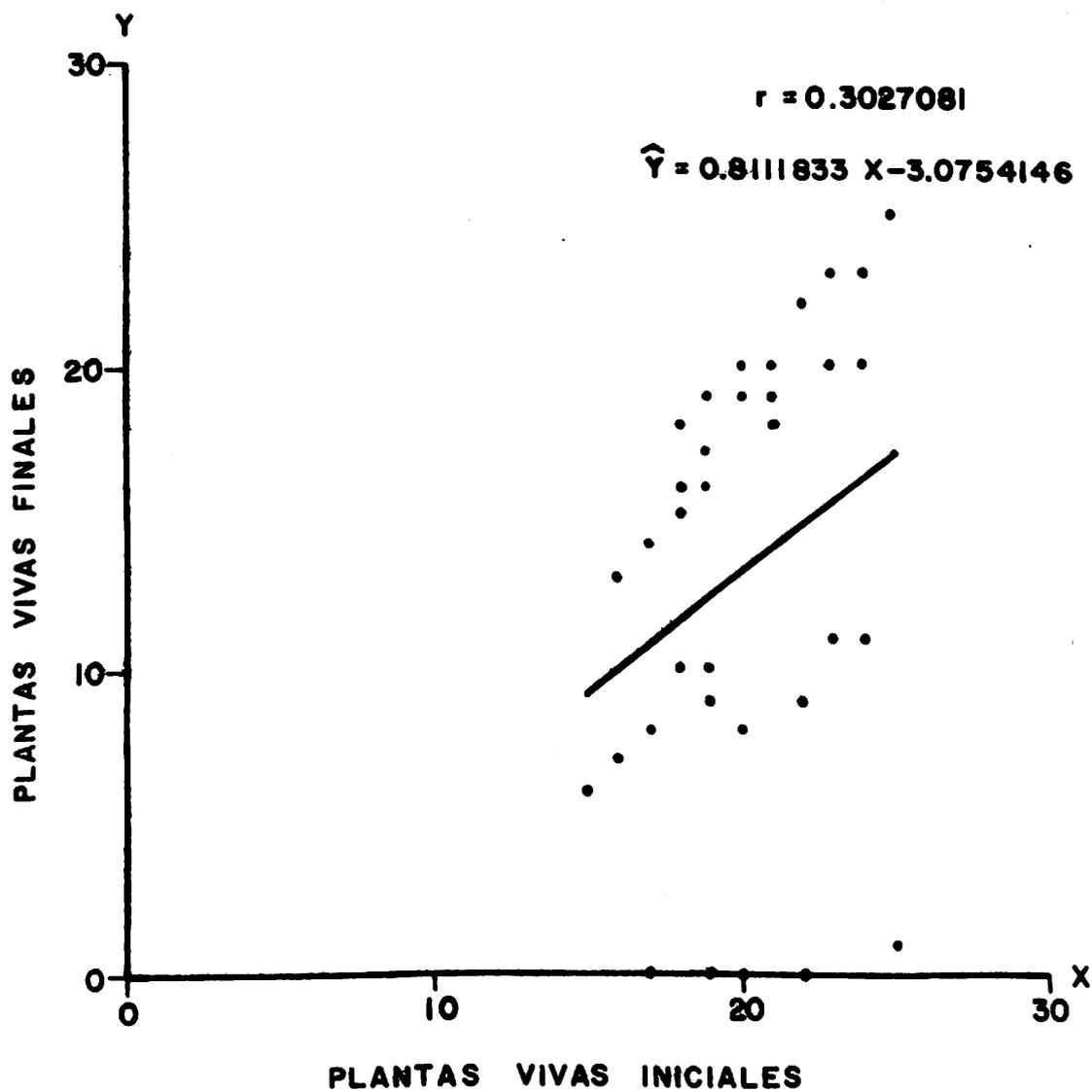


Figura 7. Diagrama de dispersión y recta de regresión que ponen en evidencia la dependencia del número de plantas vivas finales -- del número de plantas vivas iniciales en la época de verano.

- ii)* El tratamiento a base de la mezcla de Dicamba + Glyphosate en dosis de 1.5 + 6 de M.C./ha fue superior, en sus efectos, que el promedio de los tratamientos a base de Glyphosate + 2,4-DA en dosis de 4 + 0.5 y 6 + 1 de M.C./ha, a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.
- iii)* El Aceite Quemado + Diesel en una relación de 1:3 de M.C./ha no presenta diferencia significativa con respecto al resto de los tratamientos aplicados en esta época de invierno, a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.
- iv)* El Dicamba + Glyphosate en dosis de 1.5 + 6 de M.C./ha presenta efectos superiores que el promedio de los tratamientos correspondientes a Picloram + Diesel, Picloram y Picloram + Diesel en dosis de 1.5 + 100, 5 + 1 + 100 de M.C./ha respectivamente, a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.
- v)* El tratamiento a base de Picloram en dosis de 5 M.C./ha es inferior, en sus efectos, que el promedio de los tratamientos tomados por la mezcla de Picloram + Diesel, Dicamba + Glyphosate y Glyphosate + 2,4-DA en dosis de 1 + 100, 1.5 + 6 y 6 + 1 de M.C./ha respectivamente, al nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.
- vi)* El Testigo, para esta época de Invierno, que involucra la no-aplicación de químicos herbicidas presenta efectos inferiores que el resto de los tratamientos.
- vii)* El Picloram + Diesel en dosis de 1.5 + 100 de M.C./ha es superior en sus efectos en promedio, con respecto a la dosis de 1 + 100 de M.C./ha de la misma mezcla, a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.
- viii)* El tratamiento a base de Glyphosate + 2,4-DA en dosis de 6 + 1 de M.C./ha es superior en sus efectos, que en dosis de 4 + 0.1 de M.C./ha, a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

Primavera

En esta época de Primavera, los resultados que se obtuvieron al analizar las hipótesis que se plantearon en la sección 3.4, fueron las siguientes:

- i) El tratamiento a base de 2,4,5-T + Dicamba en dosis de 1.5 + 1.5 de M.C./ha, es superior en sus efectos, que al promedio de los tratamientos a base de Dicamba + Glyphosate en dosis de 2.5 + 6 y 1.5 + 6 de M.C./ha, a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.
- ii) El tratamiento a base de Picloram + Diesel en dosis de 1.5 + 100 de M.C./ha, es inferior en sus efectos que el promedio de los restantes tratamientos aplicados en esta época, a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.
- iii) El Aceite Quemado + Diesel en una relación de 1:3 de M.C./ha es inferior en sus efectos, que el promedio de los tratamientos a base de Picloram + Diesel y Picloram en dosis de 1.5 + 100 y 5 de M.C./ha respectivamente, a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.
- iv) El tratamiento a base de la mezcla de Dicamba + Glyphosate en dosis de 2.5 + 6 de M.C./ha superior en sus efectos que cuando se aplica en dosis de 1.5 + 6 de M.C./ha a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.
- v) El Picloram en dosis de 5 M.C./ha es inferior en sus efectos que produce, que el promedio de las mezclas a base de Dicamba + Glyphosate en dosis de 2.5 + 6 y 1.5 + 6 de M.C./ha y la de Picloram + Diesel en dosis de 1.5 + 100 de M.C./ha, a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.
- vi) El tratamiento Testigo es inferior a sus efectos, que el promedio de los restantes tratamientos aplicados en esta época.

- vii)* El tratamiento basado en la mezcla de Picloram + Diesel en dosis de 1.5 + 100 de M.C./ha es superior en sus efectos, que el promedio de los tratamientos a base de Picloram y Aceite Quemado + Diesel en dosis de 5 y de 1:3 M.C./ha respectivamente, a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.
- viii)* La mezcla a base de Glyphosate + 2,4-DA en dosis de 6 + 0.5 de M.C./ha es superior en sus efectos, que el promedio de los tratamientos a base de Dicamba + Glyphosate en dosis de 2.5 + 6 y 1.5 + 6 de M.C./ha, a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

Verano

Para esta época de aplicación, y de acuerdo a las hipótesis que se plantearon para analizar los efectos de los tratamientos mediante pruebas contrastes; los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes:

- i)* La mezcla de 2,4,5-T + Dicamba en dosis de 1.5 + 1.5 de M.C./ha es superior en sus efectos, que el promedio de los tratamientos de Dicamba + Glyphosate en dosis de 5 + 6 y 1.5 + 6 de M.C./ha, a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.
- ii)* El tratamiento correspondiente a 2,4,5-T + Dicamba en dosis de 1.5 + 1.5 de M.C./ha es superior a sus efectos, que el promedio de los restantes tratamientos aplicados en esta época de verano, a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.
- iii)* El Aceite Quemado + Diesel en una relación de 1:3 de M.C./ha es superior en sus efectos que el Picloram en dosis de 5 M.C./ha, a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.
- iv)* El 2,4,5-T + Dicamba en dosis de 1.5 + 1.5 de M.C./ha es superior en sus efectos, que el promedio de la mezcla a base de Glyphosate + 2,4-DA y Dicamba + Glyphosate en dosis de 6 + 0.5 y 1.5 + 6 de M.C./ha respectivamente, a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

- v) El tratamiento Testigo resultó inferior en sus efectos, con respecto al promedio de los restantes tratamientos aplicados en esta época de Invierno, a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.
- vi) El Aceite Quemado + Diesel en una relación de 1:3 de M.C./ha resultó inferior en sus efectos que el promedio de los tratamientos a base de 2,4,5-T + Dicamba, Dicamba + Glyphosate en dosis de 1.5 + 1.5, 2.5 + 6 y 1.5 + 6 de M.C./ha respectivamente, a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.
- vii) El tratamiento formado por la mezcla de Glyphosate + 2,4-DA en dosis de 6 + 0.5 de M.C./ha es superior en sus efectos, que el tratamiento a base de Picloram en dosis de 5 M.C./ha, a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

Los anteriores resultados, nos permiten afirmar que en la época de invierno el herbicida más efectivo para el control de Flourensia cernua D.C. lo es la mezcla a base de Dicamba + Glyphosate en dosis de 1.5 + 6 de M.C./ha; para la época de primavera, el más efectivo resultó la mezcla de 2,4,5-T + Dicamba, Glyphosate + 2,4-DA y Picloram + Diesel en dosis de 1.5 + 1.5, 6 + 0.5 y 1.5 + 100 de M.C./ha respectivamente; en el verano el tratamiento más efectivo y sobresaliente resultó la mezcla en base a 2,4,5-T + Dicamba en dosis de 1.5 + 1.5 de M.C./ha. Como se puede observar los tratamientos más efectivos en cada época de aplicación corresponden a mezclas de herbicidas compatibles, las cuales según Meyer (1982), en algunas ocasiones, son más efectivas que las aplicaciones de productos individuales para controlar las especies arbustivas invasoras en los pastizales, lo anterior debido, a que ofrecen la posibilidad de aumentar la fitotoxicidad de los tratamientos y lograr un incremento en el control de estas especies a bajo costo.

Así mismo, estos resultados concuerdan con los reportados por Schmutz (1967), el cual menciona que el hojásén es muy susceptible a las aplicaciones del 2,4-D y 2,4,5-T aplicados en los meses de agosto a septiembre en dosis de 4.5 de M.C./ha. Por otra parte, Scifres (1980), menciona que el hojásén Flourensia cernua es susceptible a la aplicación de

herbicidas fenóxicos aplicados al follaje, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en este estudio.

Por otro lado, los productos químicos Dicamba y Picloram, que fueron utilizados en este estudio, han sido reportados como herbicidas efectivos para el control de la gobernadora Larrea tridentata lo mismo que el 2,4-D y 2,4,5-T, lo cual es de gran importancia, debido a que el hojaseñ y la gobernadora se encuentran asociados, desde el punto de vista ecológico, en una extensa área dentro del Desierto Chihuahuense, por lo que las mezclas más efectivas, para cada época de aplicación llevada a cabo en este estudio, podrían enfocarse no solo al hojaseñ, sino también a la gobernadora.

SEGUNDO OBJETIVO: Evaluar el efecto fitotóxico de los herbicidas sobre el hojaseñ (Flourensia cernua D.C.) a través del tiempo para cada época de aplicación.

Para lograr el presente objetivo se aplicó la metodología descrita en la Sección 3.4. De esta manera se realizaron cuatro evaluaciones cualitativas para cada época de aplicación, en las fechas señaladas en el cuadro 6, utilizando para este fin la escala de evaluación del comportamiento de los herbicidas, propuesta en este trabajo (Cuadro 8) y bajo los supuestos que se señalaron en la sección anterior; a partir de los mismos se procedió a verificar en primer lugar, la existencia o no existencia de efectos entre los tratamientos mediante un análisis de varianza en bloques al azar, cuando se analizaron los resultados de la primera evaluación (a los 30 días) para cada época de aplicación y, un análisis de covarianza en bloques al azar cuando se analizaron los resultados de la segunda, tercera y cuarta evaluación, utilizando como covariables las calificaciones obtenidas en las evaluaciones anteriores. Los valores de las observaciones cualitativas realizadas a los 30, 60, 90 y 120 días para cada tratamiento y repetición, en las tres épocas, se pueden observar en los cuadros 9, 10 y 11.

Los análisis de varianza y covarianza en bloques al azar que se efectuaron, evidenciaron la existencia de variación en el tiempo del efecto fitotóxico de los herbicidas al nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

Una vez detectada la existencia de variación en el tiempo del efecto fitotóxico, se procede a probar las hipótesis:

$$\begin{array}{cccc}
 H_0: \mu_0 \geq \mu_1 & H_0: \mu_1 \geq \mu_2 & H_0: \mu_2 \geq \mu_3 & H_0: \mu_3 \geq \mu_4 \\
 \text{v.s.} & ; & \text{v.s.} & ; & \text{v.s.} & ; & \text{v.s.} \\
 H_1: \mu_0 < \mu_1 & H_1: \mu_1 < \mu_2 & H_1: \mu_2 < \mu_3 & H_1: \mu_3 < \mu_4
 \end{array}$$

La verificación de estas hipótesis se realizó utilizando pruebas t-student en cuya aplicación se consideran los supuestos descritos en la sección 3.4. El análisis estadístico así realizado, muestra que el efecto fitotóxico para la época de aplicación de invierno, se incrementa en los primeros 60 días (primeros dos períodos de lectura) y en general entre los 90 y 120 días se vuelve a presentar un incremento fitotóxico en el tiempo (Cuadro 15), aunque no suficientemente grandes, como para rechazar la hipótesis de que no existe incremento fitotóxico en estos dos períodos de lectura. Para la época de aplicación de primavera y verano, el análisis estadístico muestra que el efecto fitotóxico provocado por los herbicidas se incrementan a través del tiempo, sin dejar de presentar efectos en las cuatro etapas de evaluación (Cuadro 16 y 17). Cada una de las pruebas realizadas en estas comparaciones, se llevó a cabo con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. De aquí resulta que el nivel de significancia global para cada una de las comparaciones, en cada época, es menor o igual a $1-(1-0.05)^{\frac{1}{4}} = 0.1855$.

TERCER OBJETIVO: Determinar la época más adecuada de aplicación de los herbicidas para el control de hojaseñ (Flourensia cernua D.C.)

Para satisfacer este objetivo, se procedió a seguir la metodología descrita en la sección 3.4.

En primer lugar se separaron los tratamientos que se repitieron en las tres fechas de aplicación con el fin de comparar efectos; posteriormente se llevó a cabo un análisis factorial de covarianza en bloques al azar para verificar si existía diferencia entre épocas de aplicación, después de lo anterior, se procedió a desarrollar una comparación, mediante

Cuadro 15. Tabla auxiliar en la toma de decisiones para la verificación del efecto fitotóxico mediante las hipótesis establecidas, para la aplicación efectuada el 26 de Febrero de 1983.

Período de lectura	Valor de t calculada	Valor de t tabulada	Hipótesis	Decisión
0 - 30	- 6.5787	0.1855	$H_0: \mu_0 \geq \mu_1$	Se rechaza H_0
30 - 60	- 2.8979	0.1855	$H_0: \mu_1 \geq \mu_2$	Se rechaza H_0
60 - 90	1.7450	0.1855	$H_0: \mu_2 \geq \mu_3$	Se acepta H_0
90 - 120	- 0.5751	0.1855	$H_0: \mu_3 \geq \mu_4$	Se rechaza H_0

Cuadro 16. Tabla auxiliar en la toma de decisiones para la verificación del efecto fitotóxico mediante las hipótesis establecidas, para la aplicación efectuada el 28 de Mayo de 1983.

Período de lectura	Valor de t calculada	Valor de t tabulada	Hipótesis	Decisión
0 - 30	- 5.4376	0.1855	$H_0: \mu_0 \geq \mu_1$	Se rechaza H_0
30 - 60	- 2.1270	0.1855	$H_0: \mu_1 \geq \mu_2$	Se rechaza H_0
60 - 90	- 1.1490	0.1855	$H_0: \mu_2 \geq \mu_3$	Se rechaza H_0
90 - 120	- 1.6147	0.1855	$H_0: \mu_3 \geq \mu_4$	Se rechaza H_0

Cuadro 17. Tabla auxiliar en la toma de decisiones para la verificación del efecto fitotóxico mediante las hipótesis establecidas, para la aplicación efectuada el 23 de Julio de 1983.

Período de lectura	Valor de t calculada	Valor de t tabulada	Hipótesis	Decisión
0 - 30	- 4.0891	0.1855	$H_0: \mu_0 \geq \mu_1$	Se rechaza H_0
30 - 60	- 2.5538	0.1855	$H_0: \mu_1 \geq \mu_2$	Se rechaza H_0
60 - 90	- 1.0780	0.1855	$H_0: \mu_2 \geq \mu_3$	Se rechaza H_0
90 - 120	- 1.1629	0.1855	$H_0: \mu_3 \geq \mu_4$	Se rechaza H_0

contrastes, entre los efectos de estos tratamientos, utilizando como parámetro de evaluación las medias ajustadas, es decir, restando de los valores observados, los efectos de pendiente y covarianza. Por otra parte, se realizó una comparación de medias ajustadas entre los tratamientos que se aplicaron solo en dos épocas (primavera y verano).

El análisis factorial de covarianza en bloques al azar realizado, mostró una diferencia significativa entre los efectos que producen las diferentes épocas de aplicación, al nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. A partir de este resultado se procedió a llevar a cabo las comparaciones, mediante contrastes, para probar las hipótesis planteadas en la sección 3.4. Dichas hipótesis fueron las siguientes:

$$H_0: \mu_3 \leq \frac{\mu_1 + \mu_2}{2} \quad \text{v.s.} \quad H_1: \mu_3 > \frac{\mu_1 + \mu_2}{2} \quad (\text{para los tratamientos que se repitieron en las tres épocas})$$

$$H_0: \mu_3 \leq \mu_2 \quad \text{v.s.} \quad H_1: \mu_3 > \mu_2 \quad (\text{para los tratamientos que se repitieron en primavera y verano})$$

Para la verificación de estas hipótesis se utilizó la misma técnica de contrastes que se llevó a cabo para satisfacer el anterior objetivo. El análisis de comparación realizado nos permite afirmar, con un nivel de significación de $\alpha = 0.05$, que la aplicación de los productos químicos herbicidas en la época de verano es superior en sus efectos, que el promedio de los tratamientos aplicados en las épocas de invierno y primavera, con lo que se aceptó la hipótesis alternativa, para el caso, cuando se comparan los tratamientos que se repitieron en las 3 épocas. El análisis de comparación de medias ajustadas realizado sobre los tratamientos que se repitieron en primavera y verano revela que en la época de verano, la aplicación de los herbicidas fue superior en sus efectos, que los aplicados en primavera. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Schmutz (1967, 1971), Meyer y Bovey (1973) y Scifres *et al.*, (1973) en el sentido de que en la época de verano las arbustivas son sumamente susceptibles a las aplicaciones de herbicidas, debido principalmente a la intensa actividad metabólica de estas plantas.

CUARTO OBJETIVO: Establecer un Modelo Económico que permita conciliar el rendimiento de los tratamientos con el costo total de aplicación.

Para lograr por completo este cuarto y último objetivo, se desarrolló un modelo económico, en donde se combinaron dos aspectos importantes de un herbicida, el costo total de aplicación y la mortalidad de plantas indeseables que ocasiona el mismo, representando este modelo por un número, al cual se le ha llamado eficiencia de un herbicida (Ver sección 3.4).

Tomando como base los requerimientos del modelo económico propuesto (ecuación [15], sección 3.4), para determinar la eficiencia de cada uno de los tratamientos aplicados en las épocas de invierno, primavera y verano, fue necesario construir los cuadros 18, 19 y 20, en los cuales se puede observar, para cada época de aplicación, los tratamientos utilizados; cantidad de herbicida utilizado; el costo de los productos por litro; el costo total de los productos por tratamiento; el costo de mano de obra, así como el costo total de aplicación. Por otra parte, se incluyen en cada cuadro, la mortalidad de plantas que ocasiona cada tratamiento en particular y su eficiencia.

Al analizar los resultados obtenidos con el modelo económico, se puede observar que durante el invierno, el tratamiento más eficiente fue la mezcla de Dicamba + Glyphosate en dosis de 1.5 + 6.0 de M.C./ha con un 31.0% esto puede ser explicado por el hecho de presentarse un alto porcentaje de mortalidad como puede observarse al compararlo con los demás tratamientos. Sin embargo, presenta una desventaja muy grande, dado que el costo total de aplicación es el más elevado (\$ 13,622.55); lo cual no ocurre en el caso de mezcla a base de Picloram + Diesel en dosis de 1.0 + 100 de M.C./ha el cual presenta un costo total de aplicación muy bajo, comparado con el resto de tratamientos, el costo de dicho tratamiento es de \$ 2,122.55; aunado a lo anterior, esta mezcla ocasionó una mortalidad del 19.6% con lo que su eficiencia disminuye considerablemente a un 18.0%. El resto de los tratamientos aplicados en esta época de invierno, presentan un bajo porcentaje de eficiencia (<10.0%), debido principalmente al alto costo de las mezclas utilizadas, como el caso del Glyphosate + 2,4-DA en

Cuadro 18. Eficiencia de los tratamientos para la aplicación efectuada el 26 de Febrero de 1983 tomando como base los requisitos del Modelo Económico propuesto en este estudio.

Tratamiento	Costo del producto (Lt)	Cant. util. del prod. x (Lt)	Costo tot. de los productos x tratamiento	Costo de mano de obra x ha (\$)*	Costo Total	Mortalidad (%)	E(M.C) (%)
1. Picloram + Diesel			\$ 1,550.00	\$ 572.55	\$ 2,122.55	19.7	18.0
Pictoram	\$ 950.00	1.0					
Diesel	6.00	100.0					
2. Glyphosate + 2,4-DA			8,220.00	572.55	8,792.55	10.3	9.0
Glyphosate	2,000.00	4.0					
2,4-DA	580.00	0.5					
3. Picloram	950.00	5.0	4,750.00	572.55	5,322.55	1.0	1.0
4. Dicamba + Glyphosate			13,050.00	572.55	13,622.55	38.6	31.0
Dicamba	700.00	1.5					
Glyphosate	2,000.00	6.0					
5. Aceite quemado + Diesel			1,850.00	572.55	2,422.55	5.8	3.0
Aceite quemado	0.50	100.0					
Diesel	6.00	300.0					
6. Glyphosate + 2,4-DA			12,580.00	572.55	13,152.55	2.5	2.0
Glyphosate	2,000.00	6.0					
2,4-DA	580.00	1.0					
7. Picloram + Diesel			2,025.00	572.55	2,597.55	8.6	8.0
Pictoram	950.00	1.5					
Diesel	6.00	100.0					
8. Testigo	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0

* Los jornales requeridos para la aplicación de los herbicidas, se estimó en 1.041 jornal/ha y un costo en ese momento de \$ 550.00 por jornal.

Cuadro 19. Eficiencia de los tratamientos para la aplicación efectuada el 28 de Mayo de 1983, tomando como base los requisitos del Modelo Económico propuesto en este estudio.

Tratamiento	Costo del producto (Lt)	Cant. util. del prod. x (Lt)	Costo tot. de los productos x tratamiento	Costo de mano de obra x ha (\$)*	Costo Total	Mortalidad (%)	E(M.C) (%)
1. 2,4,5-T + Dicamba			\$ 1,830.00	\$ 572.55	\$ 2,402.55	88.8	81.0
2,4,5-T	\$ 520.00	1.5					
Dicamba	700.00	1.5					
2. Glyphosate + 2,4-DA			12,290.00	572.55	12,862.55	63.3	50.0
Glyphosate	2,000.00	6.0					
2,4-DA	580.00	0.5					
3. Picloram	950.00	5.0	4,750.00	572.55	5,322.55	66.5	57.0
4. Dicamba + Glyphosate			13,750.00	572.55	14,322.55	47.5	37.0
Dicamba	700.00	2.5					
Glyphosate	2,000.00	6.0					
5. Dicamba + Glyphosate			13,050.00	572.55	13,622.55	14.8	12.0
Dicamba	700.00	1.5					
Glyphosate	2,000.00	6.0					
6. Aceite quemado + Diesel			1,850.00	572.55	2,422.55	31.3	28.0
Aceite quemado	0.50	100.0					
Diesel	6.00	300.0					
7. Picloram + Diesel			2,025.00	572.55	2,597.55	20.1	18.0
Picloram	950.00	1.5					
Diesel	6.00	100.0					
8. Testigo	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0

* Los jornales requeridos para la aplicación de los herbicidas, se estimó en 1.041 jornal/ha y un costo en ese momento de \$ 550.00 por jornal.

Cuadro 20. Eficiencia de los tratamientos para la aplicación efectuada el 23 de Julio de 1983, tomando como base los requisitos del Modelo Económico propuesto en este estudio.

Tratamiento	Costo del producto (Lt)	Cant. util. del prod. x (Lt)	Costo tot. de los productos x tratamiento	Costo de mano de obra x ha (\$)*	Costo Total	Mortalidad (%)	E(M.C) (%)
1. 2,4,5-T + Dicamba			\$ 1,830.00	\$ 572.55	\$ 2,402.55	99.2	90.0
2,4,5-T	\$ 520.00	1.5					
Dicamba	700.00	1.5					
2. Glyphosate + 2,4-DA			12,290.00	572.55	12,862.55	11.1	9.0
Glyphosate	2,000.00	6.0					
2,4-DA	580.00	0.5					
3. Picloram	950.00	5.0	4,750.00	572.55	5,322.55	9.3	8.0
4. Dicamba + Glyphosate			13,750.00	572.55	14,322.55	54.7	43.0
Dicamba	700.00	2.5					
Glyphosate	2,000.00	6.0					
5. Dicamba + Glyphosate			13,050.00	572.55	13,622.55	14.8	12.0
Dicamba	700.00	1.5					
Glyphosate	2,000.00	6.0					
6. Aceite quemado + Diesel			1,850.00	572.55	2,422.55	53.1	49.0
Aceite quemado	0.50	100.0					
Diesel	6.00	300.0					
7. Testigo	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0

* Los jornales requeridos para la aplicación de los herbicidas se estimó en 1.041 jornal/ha y un costo en ese momento de \$ 550.00 por jornal.

dosis de 6.0 + 1.0 y 4.0 + 0.5 de M.C./ha que presentan un costo total de aplicación de \$ 13,152.55 y \$ 8,792.55 respectivamente, pero ocasionan una mortalidad $\leq 10.0\%$ por lo que su eficiencia disminuye drásticamente. El caso contrario se presenta con los tratamientos a base de Picloram, Picloram + Diesel y Aceite Quemado + Diesel en dosis de 5, 1.5 + 100 y en una relación de 1:3 de M.C./ha respectivamente, estos tratamientos presentan costos totales relativamente bajos, pero la mortalidad que ocasionan ellos es sumamente bajo, por lo que la eficiencia, para cada uno de estos casos, es menor del 9.0%.

Los resultados discutidos anteriormente concuerdan con los obtenidos para el primer objetivo, ya que para la época de aplicación de invierno el tratamiento más efectivo para el control del hojásén (*Flourensia cernua* D. C.) lo fue el Dicamba + Glyphosate en dosis de 1.5 + 6.0 de M.C./ha, también para el cuarto objetivo este tratamiento presentó la mejor eficiencia.

Para la aplicación de herbicidas en la primavera, el tratamiento más eficiente fue la mezcla de 2,4,5-T Dicamba en dosis de 1.5 + 1.5 de M.C./ha, con un 81.0% de eficiencia; dicho tratamiento presentó el más alto porcentaje de mortalidad con 88.8% y un costo total de aplicación de tan solo \$ 2,402.55, el cual, al ser comparado con el resto de los herbicidas, es, después del Picloram + Diesel en dosis de 1.5 + 100 de M.C./ha, uno de los más bajos. Después de este tratamiento le sigue en eficiencia Picloram y el Glyphosate + 2,4-DA en dosis de 5 y 6 + 0.5 de M.C./ha, los cuales presentaron una eficiencia del 57.0 y 50.0 por ciento respectivamente. Estos resultados coinciden con los que se obtuvieron al analizar el primer objetivo, ya que en la época de primavera los tratamientos más efectivos para el control del hojásén (*Flourensia cernua* D.C.) lo fueron el 2,4,5-T+ Dicamba y el Glyphosate + 2,4-DA en dosis de 1.5 + 1.5 y 6 + 0.5 de M.C./ha. El resto de los tratamientos, como se puede observar en el cuadro 19, presentaron una eficiencia baja, con respecto a los tratamientos antes mencionados, con un porcentaje menor o igual al 37.0; debido a que expresaron una mortalidad baja o un alto costo total de aplicación por lo que la eficiencia disminuyó considerablemente.

Por lo que se refiere a la aplicación efectuada el 23 de Julio de 1983 , el tratamiento más sobresaliente expresado por la eficiencia, lo fue la mezcla de 2,4,5-T + Dicamba en dosis de 1.5 + 1.5 de M.C./ha, el cual incluye el costo total de aplicación más bajo y la mortalidad ocasionada más elevada (\$ 2,402.55 y 99.2 por ciento, respectivamente) obteniendo así un 90.0 por ciento de eficiencia (Cuadro 20); por lo anterior este tratamiento es ideal para ser aplicado en la época de verano; en segundo término se presenta la mezcla de Aceite Quemado + Diesel en dosis de 1:3 de M.C./ha la cual obtuvo una eficiencia del 49.0 por ciento, a un costo total de aplicación de \$ 2,422.55 y ocasionando una mortalidad del 53.1 por ciento. Otro de los tratamientos que presenta resultados similares al anterior, lo fue la mezcla de Dicamba + Glyphosate en dosis de 2.5 + 6.0 de M.C./ha con 43.0 por ciento de eficiencia, lo anterior debido principalmente al alto costo total de aplicación que presenta este tratamiento (\$ 14,322.55) aunque haya presentado una mortalidad media.

El cuadro 21 nos resume los tres principales tratamientos para cada fecha de aplicación basados en su eficiencia; además en el mismo cuadro podemos observar la dosis empleada en cada uno de ellos así como el costo total de aplicación y la mortalidad producida.

Cuadro 21. Principales tratamientos para cada época de aplicación de acuerdo al Modelo Económico de eficiencia. Junio de 1984.

Epoca	Tratamiento	Dosis (M.C./ha)	Costo total (\$)	Mortalidad (%)	E(M.C) (%)
Invierno	Dicamba + Glyphosate	1 + 100	13,622.55	38.6	31.0
	Picloram + Diesel	1.5 + 6.0	2,122.55	19.7	18.0
	Glyphosate + 2,4-DA	4.0 + 0.5	8,792.55	10.3	9.0
Primavera	2,4,5-T + Dicamba	1.5 + 1.5	2,402.55	88.8	81.0
	Picloram	5.0	5,322.55	66.5	57.0
	Glyphosate + 2,4-DA	6.0 + 0.5	12,862.55	63.3	50.0
Verano	2,4,5-T + Dicamba	1.5 + 1.5	2,402.55	99.2	90.0
	Aceite quemado + Diesel	1:3	12,422.55	53.1	49.0
	Dicamba + Glyphosate	2.5 + 6.0	14,322.55	54.7	43.0

CONCLUSIONES

Del presente estudio se pueden desprender varias conclusiones importantes, que deben ser tomadas en consideración al emprender un programa de control químico de arbustivas en los pastizales del Desierto Chihuahuense. Las conclusiones principales son las siguientes:

Durante el invierno, el tratamiento más efectivo para controlar el hojásén lo fue la mezcla a base de Dicamba + Glyphosate en dosis de 1.5 + 6.0 de M.C./ha.

Durante la primavera, los tratamientos más efectivos para controlar el hojásén fueron las mezclas a base de 2,4,5-T + Dicamba, Glyphosate + 2,4-DA y Picloram + Diesel en dosis de 1.5 + 1.5, 6.0 + 0.5 y 0.5 + 100 de M.C./ha, respectivamente.

Durante el verano, el tratamiento más efectivo para controlar el hojásén lo fue la mezcla a base de 2,4,5-T + Dicamba en dosis de 1.5 + 1.5 M.C./ha.

El efecto fitotóxico de los herbicidas aplicados en invierno, presenta un incremento en los primeros 60 días (primeros dos períodos de lectura), y a los 90 y 120 días se vuelve a presentar un incremento en la fitotoxicidad de los mismos.

En la época de aplicación de primavera y verano, el efecto fitotóxico de los herbicidas se incrementa a través del tiempo, sin dejar de presentar efectos en las cuatro fechas de evaluación.

La época más adecuada para la aplicación de herbicidas en el control del hojásén (Flourensia cernua D.C.), lo es el verano.

Se debe de continuar utilizando la escala propuesta para evaluar el comportamiento de los herbicidas aplicados sobre el hojásén, con el fin de validarla.

Para la época de invierno, los tratamientos más eficientes, desde el punto de vista del costo de aplicación, y de la mortalidad que ocasionan lo fueron la mezcla a base de Dicamba + Glyphosate, Picloram + Diesel y Glyphosate + 2,4-DA en dosis de 1.5 + 6.0, 1 + 100 y 4.0 + 5.0 de M.C./ha respectivamente; obteniendo una eficiencia del 31.0, 18.0 y 9.0 por ciento cada uno de estos tratamientos.

Durante la época de primavera, los tratamientos más eficientes fueron el 2,4,5-T + Dicamba, Picloram y Glyphosate + 2,4-DA en dosis de 1.5 + 1.5, 4.0 y 6.0 + 0.5 de M.C./ha respectivamente con un 81.0, 57.0 y 50.0 por ciento de eficiencia respectivamente.

Durante el verano, las mezclas de 2,4,5-T + Dicamba, Aceite Quemado + Diesel y Dicamba + Glyphosate en dosis de 1.5 + 1.5, 1:3 y 2.5 + 6.0 de M.C./ha respectivamente, resultaron los tratamientos más eficientes con un 90.0, 49.0 y 43.0 por ciento de eficiencia respectivamente.

El análisis de covarianza es la técnica más adecuada para analizar estadísticamente la información proveniente de parcelas que presentan un número diferente de individuos en poblaciones naturales.

El Modelo de Eficiencia, expresado en términos de la proporción de plantas muertas producidas por el herbicida (M) y del costo total de aplicación por hectárea expresado en pesos (C) debe de validarse en base a otros parámetros.

R E S U M E N

Las prácticas tradicionales de aprovechamiento de pastizales en el Norte de México, se han caracterizado por la sobreutilización y el mal manejo del ganado, situación que ha originado que una gran parte de los mismos, se encuentren degradados, poco productivos, sujetos a la erosión hídrica y eólica e invadidos por plantas indeseables para el ganado doméstico. Dentro de los factores que intervienen en la invasión de arbustivas, se pueden considerar: i) sobrepastoreo, ii) competencia entre las plantas, iii) roedores y lagomorfos, iv) cambios en el clima y, v) reducción del fuego.

Para este estudio, se seleccionó el potrero número 11 del Rancho Demostrativo "Los Angeles" propiedad de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", ubicado este último en el municipio de Saltillo, Coahuila, a 48 km al sur de la ciudad de Saltillo, a 34 km sobre la carretera Saltillo-Zacatecas. Sus coordenadas geográficas son, 25°02'12" a 25°08'51" Latitud Norte y 100°58'07" a 101°04'14" Longitud Oeste; el cual se encuentra ubicado justo en el límite Este del Desierto Chihuahuense.

Los objetivos específicos del presente estudio fueron: i) Determinar cuál es el producto químico herbicida más efectivo para el control de *Flourensia cernua* D.C., en cada una de las épocas de invierno, primavera y verano, ii) Evaluar el efecto fitotóxico de los herbicidas a través del tiempo para cada época de aplicación, iii) Determinar la época más adecuada de aplicación de los productos químicos herbicidas para el control de *Flourensia cernua* D.C., y, iv) Establecer un modelo económico que permita conciliar el rendimiento de los tratamientos con el costo total de

aplicación. Los tratamientos fueron aplicados en parcelas de cinco a 12 m de ancho por cinco a 12 m de largo, es decir, parcelas de 25 a 150 m² aproximadamente, superficie que permitió obtener entre 15 y 100 plantas por parcela; con ello se logró también homogeneidad de las parcelas en cuanto a la pendiente del área de estudio. Los tratamientos aplicados en la época de primavera y verano fueron cambiados en función de los resultados obtenidos en la primera aplicación (aplicación de invierno); de esta manera, los tratamientos de las últimas dos aplicaciones fueron similares, a excepción del tratamiento de Picloram + Diesel, el cual únicamente se aplicó en primavera. La aplicación de los tratamientos para la época de invierno, primavera y verano, se realizó el 26 de Febrero de 1983, 28 de Mayo de 1983 y 23 de Julio de 1983 respectivamente. Las características del terreno, condujeron a utilizar un diseño en bloques al azar con el fin de bloquear el efecto de la pendiente del terreno. Para lograr completar el primer objetivo, se utilizó un análisis de covarianza en bloque al azar, considerando el número de plantas vivas iniciales como covariable. Para evaluar el efecto fitotóxico se realizan cuatro evaluaciones cualitativas, utilizando para lograr este segundo objetivo, pruebas t-student. Para satisfacer el tercer objetivo, se separaron los tratamientos que se repitieron en la época de aplicación, realizándose posteriormente una comparación mediante contrastes, entre los efectos de estos tratamientos utilizándose como parámetros de evaluación las medias ajustadas y, además se llevó a cabo una comparación de medias ajustadas entre los tratamientos que se repiten solo en las épocas (primavera y verano). Con el fin de alcanzar los objetivos de este Estudio, se desarrolló un modelo económico que integra el costo total de aplicación y la mortalidad ocasionada por los productos químicos herbicidas.

Los tratamientos más efectivos para el control de Flourensia cernua D.C. lo fueron: Dicamba + Glyphosate en dosis de 1.5 + 6.0 de M.C./ha para la época de invierno; en primavera los más efectivos fueron la mezcla de 2,4,5-T + Dicamba, Glyphosate + 2,4-DA y Picloram + Diesel en dosis de 1.5 + 1.5, 6 + 0.5 y 1.5 + 100 de M.C./ha, respectivamente; en la época de verano, la mezcla a base de 2,4,5-T + Dicamba en dosis de 1.5 + 1.5 de M.C./ha resultó ser el más efectivo.

Por lo que respecta al efecto fitotóxico que ocasionan los tratamientos, para cada época de aplicación, el análisis estadístico realizado mostró que por lo general, el efecto fitotóxico producido por los productos químicos herbicidas se incrementa sin dejar de presentar efectos en las cuatro etapas de evaluación realizadas.

Por otra parte, la época más adecuada de aplicación resultó ser la época de verano, en donde los tratamientos aplicados, a excepción del testigo, producen sus más elevados efectos sobre este arbusto.

Los tratamientos más eficientes, para cada aplicación, resultaron ser para la época de invierno, el tratamiento a base de Dicamba + Glyphosate en dosis de 1.5 + 6.0 de M.C./ha logrando una eficiencia del 31.0 por ciento; en primavera y verano la mezcla a base de 2,4,5-T + Dicamba en dosis de 1.5 + 1.5 de M.C./ha, resultó ser el más eficiente en base a mortalidad y costo, obteniendo un 81.0 y 90.0 de eficiencia respectivamente.

LITERATURA CITADA

Adler, Y.P., E.V. Markova and Y.V. Granovski. 1975. The design of experiments to find optimal conditions. Ed. MIR. Moscow. 287 p.

Allred, B.W. 1949. Distribution and control of several woody plants in Texas and Oklahoma. J. Range. Mgmt. 2(1): 17 - 29.

Anderson, P.W. 1977. Weed science: principles. West Pub. Co. 598 p.

Baker, R.D., C.R. Glover, K. MacDaniel and J.W. Whitworth. 1979. Chemical weed control guide for 1979. New Mexico State University. Las Cruces, New Mexico. 72 p.

Bartlett, H.H. 1956. Fire, primitive agriculture, and grazing in the tropics. En: Thomas, W.L. (ed). Mans role in changing the fact of the face of the earth. The University of Chicago Press.

Biswell, H.H. 1954. The brush control problem in California. J. Range Mgmt. 2(1): 17 - 29.

Blake, S.F. 1913. Revision of the genus *Flourensia* Proc. Amer. Acad. 49: 393 - 409.

Bovey, R.W., R.E. Meyer and J.R. Baur. 1979. Potential herbicides for brush control. J. Range Mgmt. 34(2): 144 - 148.

Bovey, R.W., J.R. Baur and H.L. Morton. 1969. Control of huizache and associated woody species in South Texas. J. Range Mgmt. 47 - 50.

- Bovey, R.W., Morton, H.T., Baur, J.R., Diaz-Colon, J.D., Dowler, C.C., and S.K. Lehman. 1969. Granular herbicides for woody plant control. *Weed Sci.* 17: 538 - 541.
- Brand, D. 1961. The early history of the range cattle industry in Northern Mexico. *Agricultural History.* 35: 122 - 129.
- Brown, A.L. 1950. Shurb invasion of Southern Arizona desert grassland. *J. Range Mgmt.* 3: 172 - 177.
- Bryant, F.C., M.M. Kothmann and L.B. Merrill. 1979. Diets of sheep, angora goats, spanish goats and white-tailed deer under excellent range conditions. *J. Range Mgmt.* 32(6): 412 - 417.
- Buffington, L.C., and C.H. Herbel. 1965. Vegetation changes on a Semi-desert grassland range from 1858 to 1963. *Ecol. Monogr.* 35: 139 - 164.
- Burril, L.C., J. Cardenas and E. Lucatelli. 1976. Field manual for weed control research. *Int. Plant Prot. Centre./O.S.U. Corvallis, Oregon U.S.A.* 59 p.
- CETENAL. 1970. Carta de climas. Esc. 1:500,000. Monterrey. 14R-VII UNAM. Instituto de Geografía.
- CETENAL. 1970. Carta edafológica. Esc. 1:50,000. Huachichil G14C44. Comisión de Estudios del Territorio Nacional.
- CETENAL. 1970. Carta edafológica. Esc. 1:50,000. Agua Nueva G14C43. Comisión de Estudios del Territorio Nacional.
- Chang, F.Y., and W.H. Born. 1971. Dicamba uptake, translocation, metabolism, and selectivity. *Weed Sci.* 19(1): 113 - 117.
- Cochran, W.G. 1957. Analysis of covariance: its nature and uses. *Biometrics.* 13: 261 - 281.

- Bovey, R.W., Morton, H.T., Baur, J.R., Diaz-Colon, J.D., Dowler, C.C., and S.K. Lehman. 1969. Granular herbicides for woody plant control. *Weed Sci.* 17: 538 - 541.
- Brand, D. 1961. The early history of the range cattle industry in Northern Mexico. *Agricultural History.* 35: 122 - 129.
- Brown, A.L. 1950. Shurb invasion of Southern Arizona desert grassland. *J. Range Mgmt.* 3: 172 - 177.
- Bryant, F.C., M.M. Kothmann and L.B. Merrill. 1979. Diets of sheep, angora goats, spanish goats and white-tailed deer under excellent range conditions. *J. Range Mgmt.* 32(6): 412 - 417.
- Buffington, L.C., and C.H. Herbel. 1965. Vegetation changes on a Semi-desert grassland range from 1858 to 1963. *Ecol. Monogr.* 35: 139 - 164.
- Burril, L.C., J. Cardenas and E. Lucatelli. 1976. Field manual for weed control research. *Int. Plant Prot. Centrel./O.S.U. Corvallis, Oregon U.S.A.* 59 p.
- CETENAL. 1970. Carta de climas. Esc. 1:500,000. Monterrey. 14R-VII UNAM. Instituto de Geografía.
- CETENAL. 1970. Carta edafológica. Esc. 1:50,000. Huachichil G14C44. Comisión de Estudios del Territorio Nacional.
- CETENAL. 1970. Carta edafológica. Esc. 1:50,000. Agua Nueva G14C43. Comisión de Estudios del Territorio Nacional.
- Chang, F.Y., and W.H. Born. 1971. Dicamba uptake, translocation, metabolism, and selectivity. *Weed Sci.* 19(1): 113 - 117.
- Cochran, W.G. 1957. Analysis of covariance: its nature and uses. *Biometrics.* 13: 261 - 281.

- Cochran, W.G. y G.M. Cox. 1976. Diseños experimentales. Ed. Trillas. 661 p.
- Correll, D.S., and M.C. Johnston. 1970. Manual of the vascular plants of Texas. Texas Research Fundation, Ranner, Texas. 1881 p.
- COTECOCA. 1979. Coahuila. SARH. México. 255 p.
- COTECOCA. 1980. Estudio de los tipos de vegetación en el Estado de Coahuila. SARH. México. 263 p.
- Curtis, J.T. 1959. The modification of mid-laitud grassland and forest by man. En: Thomas, W.L. (ed.). Mans role in changing the fact of the face of the earth. The University of Chicago Press.
- De la Cruz C., J.A., J. de la Fuente Z., J. Medina T. y R. Vásquez A. 1973. Rancho "Los Angeles": demostrativo para manejo de pastizales y ganado. SAG. Gob. del Edo. de Coah. ESAAN-UAC. 20 p.
- Dillon, M.O. 1976. A systematic study of the genus *Flourensia* (Asteraceae-Heliantheae). Ph.D. dissertation. University of Texas.
- Ellison, L. 1960. Influence of grazing on plant sucession of rangelands. Bot. Rev. 26: 1 - 78.
- Ennis, W.B. 1971. Benefits of agricultural chemicals. Weed Sci. 19(2): 631 - 635.
- Farm Chemicals. 1982. Farm chemicals handbook. 200 p.
- Fisher, R.A. 1947. The design of experiments. Oliver and Boyd. Edimburgo. 527 p.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. 2a. Ed. UNAM. México 246 p.

- Gentry, H.W. 1957. Los pastizales de Durango: estudio ecológico, fisiográfico y florístico. IMRNR. 361 p.
- González, M.H. 1972. Manipulating shrub-grass plant communities in arid zone for increased animal production. In: Mckell, C.M., J.P. Blaisdell and J.R. Goodin. (ed.) Wildland shrubs their biology and utilization. USDA. Forest Ser. General Technical Report. Int-1. Intermountain Forest and Range Exp. Sta. Utah.
- Heady, H.F. 1975. Range management. Mc Graw-Hill Co. 550 p.
- Henrickson, J., and R.M. Straw. 1976. A gazetteer of the Chihuahuan desert region. California State University. 273 p.
- Herbel, C.H. 1983. Principles of intensive range improvements. J. Range Mgmt. 34(2): 144 - 148.
- Herbel, C.H., Gould, W.L., Leifeste, W.F. and R.P. Gibbens. 1983. Herbicide treatment and vegetation response to treatment of mesquites in Southern New Mexico. J. Range Mgmt. 36(2): 149 - 151.
- Herbel, C.H., L.W. Gould. 1973. Improving arid rangelands. Agricultural Experiment Station. New Mexico State University. Jornada Experimental Range Report No. 4. 16 p.
- Hicks, C.H. 1974. The design of experiments. Academic Press. Nueva York. 625 p.
- Holecheck, J.L. 1981. Brush control impacts on rangeland wildlife. J. of Soil and Water Conser. 36(5): 265 - 269.
- Humphrey, R.R. 1970. Arizona range grasses. The University of Arizona Press. 150 p.
- Humphrey, R.R. 1958. The desert grassland. The University of Arizona Press. 73 p.

- Jacoby, P.W., D.N. Veckert and F.S. Hartmann. 1982. Control of creosote-bush (Larrea tridentata) with pelleted tebuthiuron. Weed Sci. 30: 307 - 310.
- Jameson, D.A. 1972. Optimum stand selection for juniper control on Southwestern Woodland ranges. J. Range Mgmt. 24(2): 94 - 99.
- Jones, Q., and F.R. Earle. 1966. Chemical analysis of seed II: oil and protein content of 759 species. Econ. Bot. 20(2): 127 - 155.
- Klebenow, D.A. 1972. The habitat requirements of sage grouse and the role of fire in management. Proc., Tall Timbers Fire. Ecol. Conf. 12: 305 - 315.
- Klingman, G.C., and F.W. Ashton. 1975. Weed science: principles and practices. Wiley-Interscience. Pub. 431 p.
- Krebs, C.J. 1979. Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance. Harper & Row. Pub. 678 p.
- Mársico, O.J. 1980. Herbicidas y fundamentos del control de malezas. Ed. Hemisferio Sur. Argentina. 298 p.
- Marzocca, A. 1976. Manual de malezas. Ed. Hemisferio Sur. Argentina. 564 p.
- McDaniel, K.C. 1980. Brush and weed control on New Mexico ranges. New Mexico State University. B - 806.
- Medina T., J.G. y R.C. Nava. 1977. Manejo ecológico de pastizales en zonas áridas. Rangeland's Jour. 4(4): 111 - 112.
- Méndez, R.I. 1976. Modelos estadísticos lineales. Foccaqui/CONACYT. 140 p.

- Meyer, R.E. 1982. Brush response to spacing and individual plant herbicide treatments. *Weed Sci.* 30: 378 - 384.
- Meyer, R.E., and R.W. Bovey. 1973. Control of woody plants with herbicides mixtures. *Weed Sci.* 25(5): 423 - 426.
- Mitchell, G.J., and S. Smoliak. 1971. Pronghorn antelope range characteristics and food habits in Alberta. *J. Wildl. Mgmt.* 35: 238 - 250.
- Montgomery, D.C. 1976. Design and analysis of experiments. John Wiley & Sons. 417 p.
- Mueller - Dombois, D., and H. Ellenberg. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John C. Wiley & Sons, New York.
- National Academy of Science. 1980. Plantas nocivas y cómo combatirlas. Vol. 2. Ed. Limusa. México. 574 p.
- Norris, M.L., L.E. Montgomery and W.D. Mosher. 1982. Brush control with herbicides on hill pasture sites in Southern Oregon. *J. Range Mgmt.* 35(1): 75 - 80.
- Primo, Y.E. y J.M. Carrasco. 1977. Química agrícola II: plaguicidas y fitorreguladores. Ed. Alhambra. España. 639 p.
- Primo, Y.E. y P.B. Cuñat. 1968. Herbicidas y fitorreguladores. Ed. Aguilar. España. 300 p.
- Quintanar, F.A. 1961. Los desiertos mexicanos. IMRNR. 157 p.
- Rao, C.R. 1965. Linear statistical inference and its applications. John Wiley & Sons. 474 p.
- Sauer, C.O. 1950. Grassland climax, fire, and man. *J. Range Mgmt.* 3: 16 - 21.

- Schumtz, E.M. 1971. Absorption, translocation, and toxicity of 2,4,5-T in creosotebush. *Weed Sci.* 19(2): 510 - 516.
- Schumtz, E.M. 1967. Chemical control of three chihuahuan desert shrubs. *Weeds.* 15(1): 62 - 67.
- Scheffé, H. 1959. *The analysis of variance.* John Wiley & Sons. 477 p.
- Scifres, C.J. 1980. *Brush management: Principles and practices for Texas and the Southwest.* Texas A & M University Press. 360 p.
- Scifres, C.J., J.L. Mutz and W.T. Hamilton. 1979. Control of mixed brush with tebuthiuron. *J. Range Mgmt.* 32(2): 155 - 158.
- Scifres, C.J., J.L. Mutz and C.H. Meadors. 1978. Response of range vegetation to grid placement and aerial application of karbutilate. *Weed. Sci.* 26: 139 - 144.
- Scifres, C.J. 1977. Herbicides and the range ecosystem: residues, research, and the role of rangeman. *J. Range Mgmt.* 30(2): 86 - 91.
- Scifres, C.J., J.R. Baur and R.W. Bovey. 1973. Absorption of 2,4,5-T applied in various carriers to honey mesquite. *Weed Sci.* 21(2): 94 - 96.
- Scotter, G.W. 1980. Management of wild ungulate habitat in the United States and Canada: a review. *J. Range Mgmt.* 33: 16 - 28.
- Sierra, T.J. 1980. Identificación de las gramíneas del Rancho Demostrativo "Los Angeles", Saltillo, Coahuila, por sus características vegetativas. Tesis Profesional Ing. Agr. Univ. Aut. Agr. Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Soutiere, E.C., and E.G. Bolen. 1976. Mourning dove nesting on tobosa grass mesquite rangeland sprayed with herbicides and burned. *J. Range Mgmt.* 29: 226 - 231.

- Sprankel, P., W.F. Meggitt and D. Penner. 1975. Absorption, action and translocation of glyphosate. *Weed. Sci.* 23(3): 235 - 240.
- Stager, R.E. 1979. General consideration for noxious plant control on New Mexico ranges. New Mexico State University. 400 B - 806.
- Steel, R.G. and J.H. Torrie. 1960. Principles and procedures of statistics McGraw-Hill Book Co. 481 p.
- Stoddart, L.A., T.W. Box and A.D. Smith. 1975. Range management. McGraw-Hill Book Co. 532 p.
- Thomson, W.T. 1977. Agricultural chemicals. Book II: herbicides. Thomson Pub. 272 p.
- Timmons, F.L. 1970. A history of weed control in the United States and Canada. *Weed Sci.* 18(1): 294 - 307.
- Ueckert, D.N., P.W. Jacoby and S. Hartmann. 1982. Tarbush and forage response to selected pelleted herbicides in the western Edward Plateau. Texas Agricultural Experiment Station. B - 1393. 5 p.
- Vallentine, J.F. 1971. Range development and improvements. Brigham Young University Press. Provo, Utah.
- Vásquez A., R. 1973. Plan inicial de manejo de agostaderos en el Rancho Demostrativo "Los Angeles". Tesis Profesional. Ing. Agr. Esc. Sup. Agr. Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah.
- Vines, R.A. 1960. Trees, shrubs and woody vines of the Southwest. University of Texas Press. Austin, Texas. 1104 p.
- Wall, E.M., Garvin, J.W., Willman, J.J., Q. Jones and B.G. Schubert. 1961. Survey of plants for steroidal sapogenins and other constituents. *J. Pharm Sci.* 50: 1001 - 1034.

Weed Science Society of America. 1974. Herbicides handbook of the Weed Science Society of America. 430 p.