

00381
24
26j



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**"UN MODELO INTEGRAL CLIMA-PRODUCCION"
(APLICACIONES EN LA OPTIMIZACION DE
ECOSISTEMAS NATURALES Y AGRICOLAS DEL
ESTADO DE TLAXCALA).**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE
DOCTOR EN BIOLOGIA
P R E S E N T A ;
WALTER RITTER ORTIZ

MEXICO, D. F.

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Julian Adem por la dirección de la tesis y por estos 20 años de invaluable apoyo y guía.

Al Dr. Rafael Patrón por la dirección de la tesis, amistad y desinteresada ayuda en los aspectos agroecológicos.

A la noble labor y sincera amistad de mis sinodales: Maestra Enriqueta García (presidenta del jurado), Dr. Armando Ortega, Dr. Pedro Miramontes, Dr. Miguel Martínez y Dr. Omar Mancera.

Por las horas dedicadas de intensa labor, análisis y discusiones con el Dr. Miramontes que ayudaron al esclarecimiento de muchas dudas y al sustancial mejoramiento de la tesis.

A los Drs. Ernesto Jauregui, Amando Leyva y al M.C. Alfonso Estrada Bentancourt por su valiosa ayuda y apoyo prestado en la realización de este trabajo.

A los doctores: J. Joseph, P. Tomlinson, Ch. Psaroupolus, C. Peterson, W. Bayliff, W. Klawe, F. Miller, C. Orange, T. Calkins, E. Forsberg, M. Stevenson, G. Sharp y B. Chatwin ; quienes con su total e incondicional apoyo fueron los forjadores de una etapa muy importante de mi vida.

A los alumnos y autoridades de la escuela de Agrobiología donde se realizo gran parte de este trabajo.

Y finalmente en el arduo y difícil trabajo computacional se conto todo el tiempo con la ayuda siempre dinámica, eficiente y desinteresada de Rafael Patiño Mercado.

DEDICATORIA

A

MIS

PADRES,

HERMANOS,

ESPOSA

E

HIJOS

INDICE

	Pags
AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	ii
RESUMEN	iii
I. INTRODUCCION.	1-10
II. OBJETIVOS	11-12
III. ANTECEDENTES CIENTIFICOS Y FILOSOFICOS DEL MODELO.	
1) OBSERVACIONES.	13
a) LA VISION INTEGRAL EN LAS CIENCIAS NATURALES.	14-21
b) CONSIDERACIONES FUNDAMENTALES EN EL CONOCIMIENTO, Y SIMULACION MATEMATICA INTEGRAL DE LA NATURALEZA.	22-26
c) EL ENFOQUE ENERGETICO EN LOS PROCESOS DE LA VIDA, DEL CLIMA Y DE LA PRODUCCION	27-33.
d) ELEMENTOS BASICOS DEL PRONOSTICO EN LOS SISTEMAS CLIMATICOS Y PRODUCTIVOS	34-48
1) MODELOS CLIMATICOS DE SIMULACION Y PRONOSTICO DE COSECHAS	49-52
IV. EL MODELO, PROPIEDADES Y ALCANCES.	49-52
1) OBSERVACIONES.	53
A) ANALISIS DE LOS FUNDAMENTOS BASICOS DEL MODELO.	
a) MODELO DETERMINISTICO DE DENSO-DEPENDENCIA , EFECTOS DE RETRASO Y REGIMENES CAOTICOS.	54-57
b) MODELO PROBABILISTICO POR EFECTOS DE INESTABILIDAD CLIMATICA, ECUACION DE DIFUSION Y POSIBILIDADES DE EXTENSION.	57-63
c) MODELO LOGISTICO DE PRODUCCION CON EFECTOS DE ALEATORIEDAD EN SUS PARAMETROS.	63-67
1) CONDICIONES DE EQUILIBRIO Y OPTIMIZACION.	67
d) MODELO LOGISTICO DE PRODUCCION CON VARIABLES AMBIENTALES PROMEDIO	68-69
B) APORTES ECOLOGICO-AMBIENTALES EN EL MODELO GENERAL.	
a) MODELO LOGISTICO CON ESTRUCTURA DE EDADES Y CONDICIONES DE OPTIMIZACION EN LAS RAZONES DE EXPLOTACION.	70-72
b) EL MODELO LOGISTICO DE PRODUCCION CON FACTOR CLIMATICO LIMITANTE.	73-76

	FLUJOS Y TRANSFERENCIAS ENERGETICAS.	77-82
d)	UN MODELO LOGISTICO ESTOCASTICO LINEAL PARA LA DETERMINACION DE LA PREDICTIBILIDAD DE LA LLUVIA.	83-84
1)	MODELO DE PRONOSTICO PUNTUAL POR ESTACION.	84-87
e)	MODELO MARKOVIANO DE NATALIDAD PURA PARA EL PRONOSTICO DE HELADAS	88-90
1)	PROCESOS MARKOVIANOS LINEALES.	90
2)	PROCESO POISSONIANO DE NATALIDAD PURA.	91-93
V.	RESULTADOS	
1)	OBSERVACIONES	94-95
A)	VALORES DE PRODUCTIVIDAD Y RELACIONES CLIMA-PRODUCCION EN PRESAS ,PASTIZALES, BOSQUES Y CULTIVOS DE MAIZ.	96
a)	CRECIMIENTO, SOBREVIVENCIA Y OPTIMIZACION DEL RECURSO DE LA CARPA (Cyprinus carpio) EN LA PRESA DE ATLANGATEPEC, TLAXCALA, UN CASO ESPERADO DE CLIMA ESTABLE.	96-99
b)	RELACIONES CLIMA-PRODUCCION, CONDICIONES DE EQUILIBRIO Y OPTIMIZACION DE LOS PASTIZALES EN EL ESTADO DE TLAXCALA CON ABASTECIMIENTO UNIFORME EN LA LLUVIA	100-103
c)	CAMBIOS EN EL RENDIMIENTO MAXIMO SOSTENIDO EN LA PRODUCCION DEL RECURSO FORESTAL EN EL ESTADO DE TLAXCALA, POR EFECTOS DE VARIACION CLIMATICA.	104-110
d)	UN METODO SIMPLE DE CALCULO DEL POTENCIAL PRODUCTIVO DE CEREALES.	111-113
e)	CALCULO DE LA ESTABILIDAD PRODUCTIVA EN LOS AGROECOSISTEMAS.	114-115
f)	PREDICTIBILIDAD DE LA LLUVIA, HELADAS Y SEQUIAS.	
1)	HELADAS.	116-128
2)	CALCULO DE BALANCES DE AGUA Y SEVERIDAD DE SEQUIAS.	129-135
g)	ANALISIS DE RESULTADOS DE LAS RELACIONES CLIMA-PRODUCCION.	
h)	ESTABILIDAD PRODUCTIVA Y ESTRESAMIENTO CLIMATICO EN AGROECOSISTEMAS LOCALES	136-145
VI.	DISCUSION DE LOS RESULTADOS	146-153
VII.	BIBLIOGRAFIA.	154-159

RESUMEN

La creación de una sociedad perdurable exigirá cambios económicos y sociales fundamentales. Los diversos sistemas económicos dependen mucho de los bosques, pastizales y pesquerías. Estos sistemas naturales proporcionan no sólo la mayoría de la proteína de nuestra dieta, sino también energía y materias primas. La demanda sin precedente de estos recursos, excede en la actualidad la capacidad de soporte de los sistemas biológicos en muchas partes del mundo. A medida que la demanda excede el rendimiento que pueden sostener estos sistemas, empezamos a consumir la base de nuestros recursos productivos, colocándonos en una situación de un financiamiento biológico deficitario, situación muy peligrosa para las generaciones futuras. En esta tesis se analizan las relaciones clima-producción en diferentes ecosistemas; presas, pastizales, bosques y cultivos del estado de Tlaxcala, manifestándose una fuerte interacción climática regional sobre los volúmenes de producción observados, lo que justifica la introducción del impacto y la variabilidad de este efecto en los cálculos y estrategias de los volúmenes deseables de explotación de estos recursos a fin de obtener la dualidad deseada de optimización-conservación para un beneficio mayor y sostenido en la región.

Los modelos matemáticos utilizados con éste fin, se derivan del modelo logístico; autoconsistentes entre sí, simples pero con una gran dinámica y complejidad de manifestación y que, por analogía, nos permiten su uso tanto en biología como en climatología. Al mismo tiempo los modelos están basados en parámetros simples de obtener en la práctica que nos permiten desarrollar metodologías para conocer y analizar las posibles situaciones existentes con consideraciones formales de: Climatología, Ecología Matemática e Ingeniería de Sistemas, en situaciones básicas interdisciplinarias, así como de los nuevos paradigmas emergentes observados en la ciencia. Por ejemplo se señala la posibilidad de obtener incrementos de un 150 % en la producción de carpa en la presa de Atlagatpec, al pasar a dos años la primera edad de entrada a la pesquería. Con un complemento mínimo uniforme se obtiene un óptimo en la disponibilidad de la lluvia y con un agregado de nutrientes orgánicos, los pastizales se verían beneficiados con incrementos hasta de un 300%. Un fuerte impacto y variabilidad de los efectos climáticos sobre la producción forestal es observada, con rendimientos máximos sostenidos que fluctúan entre 250 y 400 metros cúbicos para condiciones climáticas favorables y adversas respectivamente en un bosque de pino en la Soledad Calpulalpan. Basado en que las curvas típicas de crecimiento en los cultivos son similares y de tipo logístico, se utiliza un método simple para el cálculo de los potenciales productivos del maíz, en función de la tasa de crecimiento lineal y la longitud del periodo de crecimiento, el primero de los cuales es obtenido de áreas promedio y de los parámetros meteorológicos. El análisis de estabilidad de estos ecosistemas producen porcentajes equivalentes en el comportamiento estable e inestable, lo que nos da idea de sistemas productivos fluctuando alrededor de su máxima capacidad de sostén. La presencia

de fuertes efectos en las sequías en el Estado de Tlaxcala es raro. Sin embargo las sequías débiles tienen una presencia prolongada, lo que puede explicar la baja eficiencia productiva del estado. Tanto las sequías como las heladas presentan ciclos que van de tres a cuatro años, según la localidad, lo que significa que son sistemas que guardan memoria.

Aspectos como holismo en las ciencias, matemáticas en la naturaleza y la nueva visión energética de la termodinámica de los sistemas abiertos y disipativos, así como los fundamentos básicos del pronóstico en los sistemas físico-ambientales y biológico-productivo, bajo las anteriores conceptualizaciones son revisados y analizados en cuatro subcapítulos del tema general de antecedentes (capítulo III) a fin de tener los conocimientos de frontera que nos permitan abordar uno de los primeros objetivos de la tesis; la de plantear una nueva visión generalista, sin condicionantes mecanicistas sobre ecología y medio ambiente.

En el capítulo sobre el desarrollo del modelo a utilizar (capítulo IV), se analizan tanto los fundamentos determinísticos como estocásticos del modelo logístico, efectos de aleatoriedad en sus parámetros, pero sobre todo sus condiciones de equilibrio y optimización; bajo condiciones ambientales promedio y con la introducción de la variable climatológica limitante en la producción. Una visión climático-energética es también introducida en el modelo para el cálculo de la capacidad de sostén en ecosistemas utilizando flujos y transferencias energéticas. Las aplicaciones por analogías en el modelo logístico estocástico lineal son utilizadas para la determinación de la predictibilidad de la lluvia.

Una generalización del modelo es utilizado en su versión de un proceso estocástico de natalidad pura con el estudio del evento de las heladas.

Una interpretación simple y práctica del modelo es utilizada en; presas, pastizales, bosques y cultivos de maíz bajo consideraciones de tiempo real, para la optimización y cálculo del rendimiento máximo sostenido de estos recursos y como un elemento cotidiano de ayuda en la diaria toma de decisiones.

ABSTRACT

The creation of an everlasting society will require fundamental economic and social changes. The existing economic systems depend on much of the forests, pastures and fisheries.

These natural systems provide not only most of the protein of our diet, but also energy and raw material.

The unprecedented request of these resources, surpass the carrying capacity support of biological systems in many places of the world. At the same time, as the demand exceeds the output that is able to sustain these systems, we start to consume the base of our productive resources, placing us in a situation of a deficient biological financing a very dangerous situation for the future generations.

In this thesis are analyzed the relations between climate and production in different ecosystems; water reservoir, pastures, forests and cultivations of the State of Tlaxcala, observing a strong climatic regional interaction over the production volume, which justifies the introduction of the impact and the variability of this effect in the calculations and strategies of the desirable volume of exploitation of these resources, in order to obtain the required duality of optimization conservation for a greater benefit and sustained yield in the region.

The mathematical models used for this purpose, are derived from the logistic model; simple, autoconsistent among them, but with a big dynamic and complexity of manifestation and, by analogy, that permits its use in biology as well as in climatology. At the same time the models are based in simple parameters to be obtained in practice that permit us to develop methodologies to know and analyze the possible existent situations with formal considerations on: Climatology, Mathematical Ecology and Systems Engineering, in basic interdisciplinary situations, as well as the new emergent paradigm observed in science.

For example it is mentioned the possibility of obtaining increments of 150% in the production of carp in the water reservoir of Atlangatepec, Tlaxcala, getting after two years the first age of input to the fisheries. With a minimum uniform complement it is obtained an optimum in the availability of the rain and adding an organic nourishment, the pastures would be benefited with increases up to 300%. A strong impact of variability of the climatic effect on the forestal production is observed, with maximum sustained yield that vary from 290 to 40 cubic meter for favorable and adverse climatic conditions respectively, in a pine forest in La Soledad, Calpulalpan, Tlaxcala.

Based on a similar typical growing curves of the crops and a similarity with the logistic type, a simple method is used for the computation of the productive potential of the corn, as a function of the lineal rate and the length of the growing period, the first of which is obtained from average meteorological parameters. The stability analysis of these ecosystems produce an equivalent percentage in the stable and unstable behavior, which gives us the idea of productive systems fluctuating around of its maximum sustainable capacity. The presence of strong effects of drought in the State of Tlaxcala is rare.

However, the weak droughts have a long persistence, which explains the low productive efficiency of the state. The droughts

as well as the freezing events presents cycles that go from three to four years, according to the locality, which it means that there are systems that keep memory.

Aspects as well as the holism in the sciences, mathematics in nature and the new energetic vision of the thermodynamics of the open and dissipative systems, as well as the fundamentals of the forecasting of the physical environmental and biological productive systems, under the first conceptualization are revised and analyzed in four sub chapters of the general theme of antecedents (chapter III) in order to have the boundary knowledge to permit us aboarding on the first objectives in the thesis: the one tracing a new generalist vision, without mechanistic limiting conditions on ecology and environmental fields.

In the chapter on the development of the model to use (chapter IV), are analyzed as the deterministic fundamental stochastics of the logistic model, random effects in its parameters, but over all its equilibrium and optimization conditions; under environmental average conditions and with the introduction of the climatological aslimiting variable in the production. A climatic energetic vision is also introduced in the model to calculate the support capacity in ecosystems using fluxes and energetic transferences. The applications by analogies in the lineal logistic stochastic model are used to determine the predictability of the rain.

A generalization of the model is used, in its version of a stochastic process of pure natality, with the study of the freezing events.

A simple and practical interpretation of the model is used in: water reservoirs, pastures, forests and corn crops under real time considerations, for the optimization and computation of the maximum sustained yield of these resources and as a quotidian element of help in the daily decision taking.

I INTRODUCCION

De la mentalidad ecológica en que partimos del supuesto de que existe un ámbito, la biosfera, que incluye desde los microorganismos, hasta el hombre y donde todo está interrelacionado; nace así el concepto de ecosistema, en donde la supervivencia de cada elemento depende de la supervivencia de los demás. Donde no sólo las causas producen efectos; también los efectos se convierten en causas, donde todo suceso está vinculado en una u otra medida con cualquier otro suceso.

La ciencia comienza a develar el milagro de como el universo se crea a sí mismo. Lo que quiere decir que la autoorganización aparece como el principio dinámico subyacente a la emergencia de todas las formas, sean éstas físicas, biológicas o culturales. La autoorganización se refiere a una de las dos clases de estructuras de la realidad física: las llamadas estructuras disipativas, en contraste con las estructuras de equilibrio. La autoorganización supone, así, el enlace entre el reino de lo animado y de lo inanimado; la vida ya no es una superestructura que descansa en una realidad inerte, sino que el universo entero aparece como animado de una misma dinámica, (Kuhn, 1970), (Peters, 1985).

Biólogos destacados han permitido superar el viejo mecanicismo del siglo XIX y situar el lugar de la creatividad y del azar en el proceso de estudio y análisis de los problemas. Nos quedamos estupefactos ante el frenesí organizador de la materia, esa misteriosa tendencia a ascender en los peldaños de la complejidad. Tras varios milenios de reinado del orden, no tenemos ya un cosmos razonable sino algo que está todavía en los espasmos del génesis y al mismo tiempo en las convulsiones de la agonía, ya que todo ecosistema se encuentra en estado de desorganización y de reorganización permanente. El "autoenigmático" juego entre energía, información y entropía hace posible un misterioso empuje ascendente; la ley de la entropía es sólo una cara de la moneda. La otra es la tendencia al ascenso en la complejidad, extraña capacidad autoorganizadora de la naturaleza, (Lazlo, 1972b), donde en los sistemas alejados del equilibrio, el desorden o la perturbación pueden ser origen de un salto hacia una mayor

complejidad. Al no poder ya separar el orden y el desorden, sucede que el orden se desordena para ordenarse de una manera más compleja. En la mayoría de los casos, los cambios inducidos por el ambiente no pueden predecirse con absoluta certeza, sino que tienden más bien a ser probabilísticos, es decir estadísticamente predecibles únicamente dentro de ciertos límites. Además, podemos decir que no existe un mecanismo único que pueda explicar los cambios observados, ya que cualquiera de ellos refleja, más bien, la totalidad de las respuestas de todas las partes; no hay un mecanismo único fundamental al cual puedan ser reducidas las respuestas y en virtud del cual puedan explicarse. En los niveles más fundamentales, todos los efectos reflejan el estado de la totalidad y en última instancia, en un nivel que trascienden los conceptos tradicionales de causalidad. (Peters, 1985).

La suposición de que el acontecer de la naturaleza está determinado, de modo que el acontecimiento preciso de ésta o de cierto sector suyo basta, al menos en principio, para predecir su futuro y el sentimiento de que, en el fondo, así ocurren las cosas, ha encontrado tal vez su expresión más general e intuitiva en Laplace, quien señala que si, en cierto instante se conoce la posición y velocidad de todos los átomos, se está capacitado para calcular de antemano todo el porvenir del universo. Cuando al término de causalidad se le da una interpretación tan estricta, caemos en el campo del "determinismo", entendiendo por tal la doctrina basada en que existen leyes naturales fijas que determinan unívocamente el estado futuro de un sistema a partir de su estado actual. En los procesos detectables por nuestros sentidos, mediante la colaboración de pequeños procesos individuales, se hace casi inevitable considerar a las "regularidades" de la naturaleza únicamente como "regularidades estadísticas". Ciertamente también las regularidades estadísticas pueden ser fundamento de proposiciones cuyo grado de probabilidad sea tan elevado que linda con la certeza, pero que en principio presuponen la necesidad de que siempre pueden darse excepciones. A menudo el concepto de "regularidad estadística" es tenido como contradictorio por lo que es posible concebir intuitivamente que los procesos de la naturaleza estén determinados por leyes y que también ocurran sin norma de orden. Frente a ello hemos de recordar que en la vida

ordinaria usamos en todo momento las regularidades estadísticas y significan por lo común, que el correspondiente sistema físico sólo se conoce imperfectamente. El concepto de Complementariedad significa que diferentes imágenes intuitivas destinadas a describir ciertos sistemas pueden ser todas perfectamente adecuadas a determinados experimentos, a pesar de que se excluyen mutuamente, (Weeler, 1979). La indeterminación intrínseca en cada una de estas posibles imágenes de la realidad permiten, incluso sin ahondar en la matemática de la Teoría de Sistemas, comprender que el conocimiento incompleto de un sistema es parte esencial de toda formulación de la teoría. (Heisenberg, 1962), (Lazlo, 1972b).

Puesto que la vida es un proceso inacabado, la ciencia de la vida continuará siendo por mucho tiempo un conjunto de afirmaciones que nunca se podrán probar de manera definitiva.

La ecología es más interdisciplinaria que transdisciplinaria; sugiere puntos de vista que relacionan íntimamente áreas del conocimiento que tradicionalmente se mantienen separadas. Nos permite comprender de qué manera los organismos se ajustan unos a otros en el seno de su medio físico, dando como resultado una variedad y sutil armonía de la biósfera y como ésta se crea o recrea continuamente a sí misma funcionando de manera maravillosa.

La biósfera posee una unidad continua; uno de los objetivos de la ecología teórica es el estudio de los grandes sistemas dinámicos, de complicada configuración en el espacio, que van cambiando dentro de un campo rico en posibilidades a medida que el tiempo transcurre, donde el sistema se concibe como compuesto de los elementos y de las interacciones que ponen en relación a unos con otros. Este sistema cambia con el tiempo, pero conserva alguna propiedad invariante tendiendo a convergir, o a regresar a sus condiciones originales.

La tendencia hacia un orden cada vez más complejo es algo observado comunmente en la naturaleza; algo así como un instinto generalizado hacia la autosuperación. Esta evolución está planteada a base de saltos bruscos en analogía con la teoría de las catástrofes de René Thom. En su teoría de las "estructuras disipativas" (Prigogine, 1980) y (Prigogine et. al., 1984), observo que en los sistemas abiertos, cuya estructura se mantiene por una disipación continua de energía se crea la posibilidad de un

"reordenamiento" brusco hacia un estado de mayor complejidad.

Sin embargo, ninguna fuerza antientrópica es requerida para la creación o el mantenimiento del orden: la autoorganización se produce espontáneamente en algunas estructuras disipativas. Es la condición misma de la "finitud creadora", el fundamento de la evolución, aquello que hace que el ser se autogenera; donde la manifestación de la materia parece estar en alcanzar un grado de complejidad tal que haga posible que ella misma decida sobre sí misma. (Jantsch, 1980); (Leonard, 1981).

En el ajuste de los parámetros que condicionan el comportamiento de la materia se llega al equilibrio autocontrolado que hace eficaz la acción azarosa, de lo cual surge lo nuevo y lo inédito. La vieja hipótesis "mecanicista" se derrumba: no podemos conocer el futuro porque se alberga insuficiente información. Por lo mismo limitado del conocimiento sobre la naturaleza se hace imposible predecir el futuro; si todo fuera predecible, no habría distinción entre pasado y futuro: no habría tiempo real. Precisamente hay tiempo real en la medida en que no todo está predeterminado a priori, en la medida en que hay indeterminismo; en la medida en que el futuro es, a cada instante impredecible puesto que la información es siempre limitada, (Peat y Briggs, 1990).

El nuevo paradigma destaca la importancia de lo aleatorio, de lo irreversible, el carácter creativo de la naturaleza misma, un poco en concordancia con la idea de una autoorganización espontánea. Todo nuevo paradigma implica en principio que había estado ahí desde siempre, pero que hasta entonces no lo habíamos reconocido. Su nuevo marco de referencia es más útil que el antiguo. Permite un conocimiento de mayor precisión y abre puertas y ventanas a nuevos vientos exploradores.

También la entropía negativa tiene su acción, que explica la aparición espontánea del orden a partir del desorden; y da una explicación científica de la creatividad de la materia a través del concepto de autoorganización y de la teoría de los procesos irreversibles. En sistemas no aislados, el no-equilibrio se transforma en fuente de orden nuevo, la entropía positiva es transferida al exterior. El caso es que el mundo de la física contemporánea no es un mundo estático sino dinámico, no es un mundo de estados sino de procesos, donde se destruye y se genera

información y estructura.

La Teoría General de Sistemas, (Bertalanffy, 1968) trata de comprender los principios de totalidad y de autoorganización a todos los niveles. Sus aplicaciones van desde la biofísica de los procesos celulares a la dinámica de poblaciones y es aplicable a problemas de física o de psiquiatría lo mismo que a temas políticos y culturales.

Una nueva energía parece liberarse conteniendo la información relativa a la totalidad, las posibilidades de autorrealización que se generan así son inagotables (Bohm, 1980). El principio termodinámico de la máxima potencia establece que los sistemas que mejor sobreviven son los que reciben más energía y los que la emplean con una mayor efectividad en la competencia o entre alternativas diferentes desarrollando para esto mecanismos que aseguren un un mayor flujo de entrada energética, (Margalef, 1963a, 1980).

En los ecosistemas las especies y el número de plantas que se desarrollarán son controladas por el principio de la máxima potencia y son las que mejor emplean la energía del sol, de la lluvia y del suelo lo que hace a la naturaleza sobrevivir. Con sus ciclos la naturaleza almacena energía estabilizando el flujo energético y haciendo posible que la vida de la biósfera continúe desarrollándose armoniosamente y en estado óptimo para las condiciones globalmente dadas (Dubogs, 1965), (Quiastler. 1964).

El crecimiento y desarrollo de una planta está relacionado a un gran número de procesos individuales; el interés en la comprensión de estos procesos ha llevado a la investigación interdisciplinaria entre fisiólogos de plantas, ingenieros, economistas, meteorólogos, etc. Esto es necesario ya que el sistema planta incluye también a su ambiente y es la síntesis de las interacciones físicas y biológicas de sus componentes, siendo la radiación solar la fuerza que maneja al sistema físico. La temperatura determina tanto la tasa como el período de crecimiento para las plantas y es a menudo representado como horas/calor para el período de desarrollo. Se considera que la precipitación es la mayor fuente de entrada de agua al sistema de la planta y que la pérdida de humedad del suelo por transpiración y evaporación es una resultante del balance energético diario, influenciado por la

cantidad de radiación recibida en la superficie terrestre, (Curry et. al., 1975), (Wilkerson et. al., 1982).

La capacidad de carga de una área será el máximo tamaño poblacional que las cadenas de flujos energéticos pueden mantener. El impacto de la variación climática en la producción es reflejada en dicha capacidad de sostén, efecto que se propaga en los siguientes niveles tróficos, tanto en número como en biomasa y eficiencia productiva, (Gates, 1960 y 1965).

En un entorno de clima fluctuante, existirá o se presentará una discrepancia entre población y cantidad de recursos naturales necesarios para sostener dicha población, este último factor muy importante y cuya determinación es ineludible por los problemas que pueden presentarse de extinción de especies y poblaciones, (Lotka, 1925).

En la mayoría de los modelos de producción en ecología cuantitativa, se hace la consideración de que el ambiente ejerce un efecto constante en la acumulación o crecimiento de los recursos naturales renovables (animales o plantas), por lo que si su tasa intrínseca de crecimiento es positiva, el recurso tiende a alcanzar, tarde o temprano, el "clímax" o máxima capacidad de sosten del ecosistema. Sin embargo, en la realidad, ambos presentan cambios como respuesta a las fluctuaciones ambientales, lo que produce diferentes tasas de biomasa, estando en ocasiones por arriba y en ocasiones por abajo de las capacidades de sostén del ecosistema (May, 1973).

En el presente trabajo se determinan los efectos estocásticos ambientales sobre la capacidad de sostén, en diferentes ecosistemas naturales y agrícolas del Estado de Tlaxcala, utilizando como fundamento el modelo logístico de producción. Se utilizan, además modelos mixtos integrales, donde las interacciones biológicas son de tipo determinístico y las ambientales de efecto estocástico. Dichos modelos climáticos de producción son aplicados a pastos, bosques, presas y sistemas agrícolas de producción de maíz. Las bondades de estos modelos son utilizadas por analogía en el pronóstico de lluvias, heladas y sequías.

Finalmente, se toman en cuenta consideraciones de la teoría general de sistemas para seguir las estrategias de optimización de la producción de dichos ecosistemas. En el análisis general del

problema integrado se tiene como base la conceptualización moderna del enfoque holístico, energético de un sistema dinámico con capacidad de autoorganización, (Koestler, 1972 y 1973). (Bohm y Peat, 1987).

La noción de un "constituyente" último de la materia es ilusoria; es decir, que sólo tiene significado en el interior de modelos particulares. Ningún intelectual que se encuentre en sus cabales aspira a construir una síntesis totalitaria; ninguna teoría es capaz de explicar completamente lo que pasa. Ningún filósofo aspira ya a la construcción de síntesis universales, (Whitehead, 1926), (Weiss, 1971). Este un ensayo generalista pero sin pretensiones de sistema totalizador sino por el contrario, con explícita conciencia de que la idea de una "ciencia última" que describa objetivamente la realidad es incluso contradictoria. Toda observación es relativa al punto de vista del observador (Einstein); toda observación afecta al fenómeno observado (Heisenberg); ningún sistema puede probar los axiomas en que se basa (Gödel); solo lograríamos saber algo del mundo en su totalidad si pudiéramos salir fuera de él (Wittgenstein). Ninguna observación posee valor absoluto, (Stapp, 1971 y 1972).

Ser generalista es una especialidad como cualquier otra.

La filosofía es hoy esencialmente marginal y surge cuando los especialistas (biólogos, matemáticos, físicos, etc) encuentran obstáculos en la frontera de su propia especialidad y plantean interrogantes transdisciplinarias, (Sheldrake, 1982), (Peat y Briggs, 1990), (Harman, 1977), (Handler, 1970).

Descartes fué conciente del fondo moral de la Ciencia, al señalar que aislar una ciencia de acuerdo con su materia, es privarla de su carácter científico y es reducirla a un nuevo conjunto de verdades aisladas. De acuerdo con esto, Leibniz proyectó establecer una academia científico-religiosa que agruparía todos los conocimientos, con una visión de un nuevo universalismo científico que hoy, lamentablemente, casi se ha perdido por lo que podemos decir que actualmente con nuestra ciencia fragmentaria somos científicos sin visión. La unidad de la ciencia ha tenido que responder así a problemas intelectuales y enfrentarse a problemas morales y sociales ya que la búsqueda puramente intelectualista de

la Ciencia debió ser abordada una y otra vez con diferentes enfoques y se volvió cada vez más una fuente de controversia.

El conocimiento continuará teniendo un carácter incompleto y casual, a menos que las disciplinas científicas se relacionen claramente entre sí y se dirijan a fines que contribuyan a un mayor bienestar humano, ya que la ciencia siempre será frívola cuando no está en manos de personas talentosas, responsables y al servicio del pueblo, con lo que el vasto ámbito de toda ciencia madura, debía tener un objetivo triple; la existencia, las cualidades y la utilidad y no uno único mecanicista.

Concebida aisladamente, la Biología no comporta ninguna racionalidad completa y duradera; si bien el enfoque reduccionista no ha dejado de aportar éxitos, no deja de tener límites. En numerosos casos es necesario este tipo de enfoque, pero no es suficiente. Es de esperarse que en los años venideros veamos desarrollarse paralelamente otro enfoque más integrativo y organísmico, en el estudio de los grandes problemas de la Biología.

Las nuevas ciencias de los sistemas termodinámicos fuera del equilibrio, matemáticas del caos y de las transformaciones de los sistemas dinámicos, remontan sus orígenes en los trabajos de Poincaré y recientemente en la teoría general de sistemas de Ludwig Von Bertalanffy, la cibernética de Norbert Wiener y la teoría de la información de Claude Shannon. Estas ciencias nos dan una visión de la naturaleza de la realidad y se manifiestan ahora en los fenómenos de la vida, la cultura y la conciencia. Estos sistemas se desenvuelven tanto en el mundo físico como en el biológico y el humano. La manera en que los sistemas dinámicos responden a los cambios desestabilizadores de su medio es de la mayor importancia para entender la dinámica de la evolución en los diversos dominios de la naturaleza.

Tanto los avances científicos, tecnológicos y materiales como nuestros problemas actuales, surgieron de la visión mecanicista del mundo, iniciada en el siglo XVII, el cual paso a ser considerado como una máquina, donde la filosofía y las ciencias en vez de intentar de comprender la naturaleza para armonizar con ella, trataron de buscar el conocimiento como medio para dominarla y manipularla. La cultura más desalmada se convirtió en sinónimo de progreso, por lo que el objetivo del nuevo pensamiento económico

debe ser la consecución del máximo bienestar humano, es decir la salud mental, emocional y los equilibrios sociales y ecológicos.

Hace sólo una generación, la humanidad creía todavía en un futuro de abundancia; sin embargo, actualmente se enfrenta a una situación precaria debido a que las inversiones de capital físico han superado en mucho a las inversiones necesarias en el capital humano. El estado lamentable en que se encuentran la Tierra y muchos de sus habitantes, sólo puede remediarse si para cada actividad que con lleve destrucción se ingenien alternativas, se prueben y finalmente se apliquen. Los objetivos tienen que reformularse y readecuarse una y otra vez a las nuevas circunstancias. En el caso de la ciencia y la técnica esto sólo puede darse a través de un constante diálogo con la sociedad, pues cada una de ellas, la ciencia y la sociedad, son condición necesaria para la existencia de la otra; se trata de una auténtica simbiosis, que debe siempre fomentarse. De un diálogo de esta índole se desprendera el replantamiento de los objetivos generales. La globalización significa complejidad y la complejidad es necesaria para todo sistema viviente. A su vez, simplificación significa inestabilidad, menores defensas y degradación. Las correlaciones entre los constituyentes del sistema natural, individualidades y diversificaciones, en fin su complejidad, permiten al sistema ser más flexible, adaptarse a los cambios del ambiente y tener una mayor probabilidad para sobrevivir y de desarrollarse. Complejidad biológica es sinónimo de estabilidad. El equilibrio biológico depende en gran manera de la renovabilidad de los recursos, por lo que en un análisis socioeconómico serio no se puede prescindir del conocimiento científico de la dinámica de posibles equilibrios ecológicos y del valor que en ellos tienen los conceptos de renovabilidad, limitación de recursos y las leyes termodinámicas.

La Biología puede ser la clave para salir del difícil momento actual la que puede sugerirnos aquellos comportamientos más apropiados para nuestra sobrevivencia. Nunca como hoy el mundo se ha mostrado más incapaz de resolver sus problemas y de habilitar el lugar para los nuevos habitantes. Faltan el alimento, la energía y el trabajo y hay poco tiempo para aprender el nuevo lenguaje y la nueva cultura de la sobrevivencia biológica. El hombre conoce la

evolución y tiene la posibilidad y obligación de no permitir el colapso de su ambiente tan complejo y tan fundamental, con todas sus interrelaciones para nuestra vida. Hacer esto presupone conocimientos profundos de los mecanismos biológicos y de las complejas leyes de la ecología. La ciencia biológica no puede dejar de ser la base de todas nuestras elecciones en un momento histórico en que las ciencias económicas, sociales y tecnológicas muestran límites propios de manera irracional y nos impiden administrar los rápidos cambios del planeta; es necesaria la transición a un modelo de vida basado en los recursos renovables y en la conservación del entorno. La crisis que vivimos no es una crisis clara, ya que no es sólo económica, social, cultural o política; es una convergencia de todas ellas pero que, en su agregación, resulta en una totalidad que es más grande que la suma de sus partes. La aplicación de modelos de desarrollo sustentados en teorías mecanicistas, acompañados de indicadores agregados y homogeneizantes, representan una ruta segura hacia nuevas y más inquietantes frustraciones; sólo un enfoque interdisciplinario nos permite comprender de que manera la política, la economía y la salud han convergido hacia una encrucijada. Vivimos una época de transición trascendental, lo cual significa que los cambios de paradigma no sólo son necesarios sino imprescindibles.

II OBJETIVOS.

Los siguientes objetivos se pretenden alcanzar en la presente tésis.

1.- OBJETIVOS GENERALES.-

a) Desarrollar una nueva concepción biológica de ecología y medio ambiente, en base a una visión generalista que rebase conceptos mecanicistas y considere el enfoque unitario de las ciencias en la resolución de nuestros problemas y en el mejor entendimiento de nuestra posición en la situación general de las cosas, a fin de lograr propósitos y objetivos de armonía, bienestar y superación continua.

b) Utilizar un modelo matemático multifuncional, clima-producción, reducido a un conjunto simple de procedimientos cuantitativos - en base al modelo logístico - que cumpla con los propósitos básicos de la visión generalista para la administración científica y sostenible de nuestros recursos naturales y a la vez nos permita determinar zonas de mayor potencial climático y menor riesgo de inversión para desarrollos agrícolas.

2.- OBJETIVOS PARTICULARES.-

a) Determinar el crecimiento, sobrevivencia y optimización del recurso de la carpa en la presa de Atlangatepec Tlaxcala a partir de la simple estructura de edades de las capturas que realizan los pescadores, analizando las fluctuaciones en las mortalidades para deducir las intensidades del impacto climático.

b) Determinar crecimiento, eficiencias de transformación y capacidad de sosten en los principales pastizales naturales del estado de Tlaxcala a partir de muestreos semanales de longitudes en la estructura de edades. Con la información adicional de la precipitación, deducir ineficiencias por falta de homogeneidad en la lluvia, y los posibles incrementos esperados con la eliminación de ésta limitante.

c) Deducir las relaciones clima-producción para árboles de pino en bosques del estado de Tlaxcala, del grosor de sus anillos y de las variables climáticas en la zona para calcular volúmenes de

producción por edades y deducir del crecimiento lógistico los montos recomendables de explotación a fin de obtener el rendimiento máximo sostenido del recurso, bajo diferentes situaciones de estress climático.

d) Deducir metodologías simples para el cálculo de los potenciales de producción del maíz en función de su tasa y período de crecimiento, deducibles de parámetros meteorológicos y curvas esperadas de crecimiento lógistico.

III.- ANTECEDENTES CIENTIFICOS Y FILOSOFICOS DEL MODELO

1.- OBSERVACIONES.

Aspectos sobre; Termodinámica, Cibernética, Teoría General de Sistemas, Teoría de la Información, Sistemas Dinámicos y Complejos, Ecología Cuantitativa y Bioclimatología, entre otros temas, sirven de marco teórico Conceptual interdisciplinario al tema general de la tesis, dándose en este capítulo los antecedentes científicos y filosóficos a la visión generalista del modelo al abordar temas fundamentales sobre; Holismo en las ciencias, Matemáticas en la Naturaleza, Procesos Energéticos en el Clima, la Vida y la Producción, así como aspectos básicos sobre el Pronóstico.

III ANTECEDENTES CIENTIFICOS Y FILOSOFICOS DEL MODELO.

a) LA VISION INTEGRAL EN LAS CIENCIAS NATURALES.

En cualquier ciencia, la formulación de afirmaciones de validez muy general, tienen necesariamente consecuencias importantes. Así la Naturaleza, debe ser considerada como un todo si es que se le desea conocer en detalle. Entendiendo a la sinérgica como la ciencia del comportamiento colectivo, ordenado y autoorganizado sometido a las leyes universales cuya tarea es descubrir las normas en que se basa la autoorganización de sistemas, en los más diversos campos científicos, (Odum, 1971), (Cesarman, 1984). La visión integral de los organismos vivientes es difícil de comprender desde la perspectiva de la ciencia clásica, pues requiere una serie de grandes modificaciones de nuestros conceptos.

La situación no es distinta de la que encontraron los físicos en las tres primeras décadas de este siglo como cuando se vieron obligados a revisar drásticamente sus conceptos básicos de la realidad para comprender los fenómenos atómicos. Este paralelismo queda corroborado por el hecho de que la noción de complementariedad que fue tan crucial en el desarrollo de la física también parece desempeñar un papel de importancia en la nueva biología de sistemas. Según esta visión, es posible utilizar conceptos diferentes pero consecuentes entre si para describir distintos aspectos y niveles de la realidad, sin que por ello sea necesario reducir los fenómenos de un nivel a los de otro, (Peat y Briggs, 1990).

El análisis cartesiano y el concepto del mundo mecánico fueron extremadamente prósperos en el desarrollo de la física y de tecnologías clásicas, pero tuvieron muchas consecuencias adversas para nuestra civilización. Es fascinante ver que la ciencia del siglo XX que tuvo su origen en el análisis cartesiano y en la visión del mundo mecánico y que realmente sólo llevo a hacerse posible a causa de tal concepto, ahora supere esta fragmentación y regrese de nuevo a la idea de unidad expresada en las primeras filosofías griegas y orientales, (Garber, 1978), (Sommers, 1975).

Como contraste al concepto mecánico occidental, el concepto oriental del mundo es, por tanto, intrínsecamente dinámico y contiene el tiempo y el cambio como rasgos esenciales,

(Needhan, 1962), (Pelletier y Garfield, 1976), (Blum, 1951).

A menos que aprendamos a considerar las totalidades y apreciemos la tendencia de la naturaleza hacia formas de organización cada vez más elevadas, no seremos capaces de encontrar un sentido a los descubrimientos científicos que van teniendo lugar de forma acelerada. La globalidad, es una característica fundamental del universo, producto de la tendencia de la naturaleza a sintetizar. El holismo es autocreador y sus estructuras finales son más holísticas que las estructuras iniciales. Esas totalidades y esas uniones son dinámicas, evolutivas y creativas, tienden hacia niveles de complejidad e integración cada vez más elevados.

El análisis de sistemas ocupa un lugar importante en el pensamiento científico tecnológico. Se trata de un esfuerzo de aprehensión totalizadora del conjunto de los fenómenos en los que se interesa el hombre y la sociedad con el fin de sistematizar su dominio y más particularmente, organizar el conocimiento en función de un objetivo de control de la realidad social. Todas las variantes del análisis sistemático tiene una meta común: la integración de los diferentes campos científicos por medio de una metodología unificada de conceptualización.

A nivel teórico, los biólogos han formulado una aproximación sistemática con el objeto de superar la alternativa mecanico-vitalista que hace años estaba en pleno apogeo. Los matemáticos hicieron de ella un modelo porque ofrecía, más allá del punto de vista de las organizaciones complejas, posibilidades de operatividad sedujo a científicos y tecnócratas e influyó con su filosofía social. Proporcionó a los científicos un modelo general y unificado de representación del mundo, ya se tratara de disciplinas como la biología y de las ciencias exactas en general, o bien y de manera más peligrosa, de las ciencias sociales. Se trata de un modelo puramente analógico y de un simple vocabulario que permite abordar, sin transición, la máquina o el organismo, la vida biológica o la vida social. Dejando de lado los modelos orgánicos y mecánicos considerados inapropiados para el análisis de los sistemas sociales, se vuelve hacia los principios cibernéticos de control. Toma de la teoría de la información y de la teoría de los juegos sus conceptos y de la biología su metafísica y su filosofía social. El análisis científico es importante para conciliar las

nociones de integración y de relación. El análisis de sistemas toma de la teoría Neodarwiniana en particular, las nociones de jerarquía de los niveles y de integración; esta jerarquía está construida en función del grado de complejidad de los niveles.

La analogía es un procedimiento sometido a la existencia de límites, a diferencia de un modelo que gozaría de verdadero carácter sistemático. Pero los límites de la analogía no resultan de consideraciones lógicas internas; son un efecto de la semejanza de las conclusiones obtenidas para aquel que las emplea. Más aún aparecen a menudo como explicativas, es decir, justificadoras de conclusiones preconcebidas en otra parte.

Surgida de la biología, la ecología se distingue de ella por la especialización de su objeto. Una de sus primeras tareas ha sido la de definir unidades de lugar, frente a sistemas de población vegetal y animal, asumiendo la responsabilidad de todas las interacciones, incluso aquellas que resultan del impacto humano. Al mismo tiempo que se desarrolla como disciplina científica, origina movimientos sociales y crea instituciones que abordan problemas del medio ambiente.

La heterogeneidad de los objetos, la divergencia de los intereses, la variedad de las técnicas, todo ello contribuye a multiplicar las disciplinas. Para el biólogo integrista, la biología no puede reducirse a la física y a la química. La integración otorga a los sistemas propiedades que no tienen sus elementos. El todo no es solamente la suma de sus partes. El todo puede tener propiedades de las que están desprovistos los constituyentes.

La ecología con su facultad integradora de todas las ciencias nos enseña que el comportamiento del universo es entendible con el lenguaje de las matemáticas y de que no es más una máquina compuesta de objetos separados, sino una unidad indivisible y armoniosa, una red de relaciones dinámicas del cual el cerebro humano y su misma conciencia forman parte esencial de ella, lo que nos puede proporcionar la base científica para los cambios de actitud y de valores que nuestra sociedad necesita con urgencia.

Para esto se tendrá que ir más allá del enfoque reduccionista y mecanicista para desarrollar una visión orgánica, holística y ecológica en el sentido de la teoría general de sistemas y de otras

herramientas matemáticas.

La naturaleza no puede ser reducida a entidades fundamentales, ya que el mundo no puede ser comprendido como un ensamblaje de entidades que no pueden desglosarse más. En la nueva visión del mundo, el universo esta considerado como una trama dinámica de sucesos relacionados entre si. Ninguna de las propiedades de cualquier parte de esta trama es fundamental, todas ellas siguen el ejemplo de las propiedades de las demas partes y la consistencia total de sus interrelaciones mutuas determinan la estructura de todo el entramado. No se debe aceptar ningun tipo de entidades fundamentales, sean cuales sean; leyes, ecuaciones o principios fundamentales y como consecuencia se debe abandonar otra idea que ha sido parte esencial de la ciencia natural durante cientos de años, (Bohm, 1980).

Todos los fenomenos naturales están, en definitiva, relacionados unos con otros y para poder explicar cualquiera de ellos es preciso que comprendamos todos los demás, lo que obviamente es imposible. Lo que hace que la ciencia tenga tanto éxito es el descubrimiento de que las aproximaciones son posibles. Si se está satisfecho con una comprensión aproximada de la naturaleza se pueden describir grupos seleccionados de fenómenos olvidando, de esta manera , deliberadamente otros, que son menos pertinentes. Así se pueden explicar muchos aspectos en función de unos pocos y como consecuencia comprender aspectos diferentes de la naturaleza de un modo aproximado sin tener que comprenderlo todo a la vez. Todas las teorías y modelos científicos son aproximaciones a la verdadera naturaleza de las cosas, pero el error implicado en la aproximación es, a veces, lo bastante pequeño para hacer que ese acercamiento sea significativo. Todas las leyes de la naturaleza son modificables, destinadas a ser reemplazadas por leyes más precisas cuando las teorías se perfeccionan. El carácter incompleto de una teoría se refleja generalmente en sus parámetros arbitrarios o constantes fundamentales, es decir, en cantidades cuyos valores numéricos no son explicados por la teoría sino que han de ser insertados dentro de ella después de que estos se han determinado de forma empírica. De esta manera, deberíamos acercarnos a la situación ideal, que quizá jamas sea alcanzada, donde la teoría no contenga constantes fundamentales no explicadas y en donde todas

sus leyes cumplan el requisito de la total autoconsistencia, (Koeatler y Smythies, 1969), (Pribram, 1977).

Estamos interesados en el conocimiento absoluto que implica una comprensión de la totalidad de la vida, siendo muy concientes de la esencial interrelación del universo, donde se advierte que explicar algo significa, en definitiva, demostrar como está relacionado con todo lo demás. Darnos cuenta que todo es consecuencia del resto, por lo que explicar la naturaleza tan solo significa demostrar su unidad, en un universo que es un todo inseparable y en donde todas las formas son fluidas y en constante cambio, no da lugar a ninguna entidad fundamental predeterminada, (Capra, 1975 y 1979a).

Los seres humanos, como todas las demás formas de vida, son parte de un inseparable todo orgánico, su inteligencia por consiguiente, implican que el conjunto también es inteligente. Los seres humanos están considerados como la prueba viviente de la inteligencia cósmica, (Asimov, 1972) y (Bucke, 1969).

Se ha llegado a la conclusión de que no existen estructuras estáticas en la naturaleza. Existe una estabilidad, y esta estabilidad es el resultado de un equilibrio dinámico.

Las estructuras disipativas tienen la interesante propiedad de ser auto-organizativas, actuando el sistema como una totalidad. Las estructuras auto-organizativas surgen por todas partes, la incognita se encierra en averiguar que enigmática comunicación se establece entre los miembros aislados de esos conjuntos auto-organizados ya sean hombres, hormigas o núcleos galácticos. La ciencia del caos se ha convertido en una disciplina que se está comenzando a aplicar actualmente a terrenos tan dispares como; física, biología, astronomía, economía, medicina, neurofisiología, diseño artístico o meteorología. Tratándose de una nueva aportación a la visión holística del universo. Una misteriosa clase de caos acecha detrás de una fachada de orden y sin embargo en lo hondo del caos acecha un genero de orden aún mas misterioso.

En medio del oceano universal del caos, surgen brotes de orden y de la auto-organización y ningún ejemplo ilustra mejor este proceso que en nuestra propia tierra. No existe en el sistema solar y tal vez en el resto del universo, un lugar donde las condiciones para la vida se hayan desarrollado en un equilibrio tan exquisito.

Nuestro planeta está lo suficientemente alejado del centro de la galaxia como para poder ignorar las catástrofes cósmicas que allí se producen, manteniendonos a la distancia necesaria del sol para evitar ser abrazados o congelados. Si fuésemos un tamaño menor, la débil gravedad sería incapaz de retener la atmósfera y con un tamaño mayor, se habrían retenido todos los gases incluyendo aquellos que son letales (amoníaco e hidrógeno). Poseemos la suficiente agua para que con su alta estabilidad térmica sin importar los cambios bruscos de temperatura, haya servido de cálida incubadora para que se desarrollaran los primeros y débiles procesos vitales. Hay abundante oxígeno que permite a los organismos vivos (motores de combustión lenta) moverse y reproducirse así como energía sobrante de nuestra estrella, el sol. Poseemos una capa de ozono que nos protege de los rayos ultravioleta esterilizadores y un campo magnético que intercepta la mayor parte de la radiación cósmica destructora. Tenemos reservas de carbono, gas y petróleo y se ha alcanzado, un equilibrio tal entre la materia inanimada y los sistemas biológicos que ha podido establecerse un ciclo cerrado, que ha funcionado a la perfección hasta que el hombre ha venido a perturbarlo. Pero la tierra tiene aún los suficientes recursos para restablecer y mantener el equilibrio, siempre que no traspasemos los límites de su capacidad. Tanto ahora como en la historia de la tierra, su climatología y su química parecen haber sido en todo momento las necesarias para el desarrollo de la vida. Que todo esto se deba a la casualidad es algo muy difícil de creer, sin embargo es una improbabilidad que se ha concretado en nuestro planeta; entidad compleja que comprende el suelo, océanos, atmósfera y biósfera; conjunto que constituye un sistema cibernético autoajustado por retroalimentación que se encarga de mantener en el planeta un entorno física y químicamente óptimo para la vida. Toda la biomasa del planeta, junto con la atmósfera, océanos y continentes, forman un sistema complejo, que tiene todas las formas típicas de la autoorganización. Persiste en un notable estado de desequilibrio químico y termodinámico y puede regular el ambiente planetario a través de una gran variedad de procesos que le permiten mantener las condiciones necesarias para la evolución de la vida. Aspectos similares de autoregulación se observan también en la composición química de la atmósfera,

salinidad de los océanos y la distribución de oligo-elementos en las plantas y los animales. Sus propiedades y actividades no pueden ser previstas por la suma de sus partes, sus numerosas vías de comunicación son altamente complejas y no lineales, su forma ha evolucionado durante miles de millones de años y sigue evolucionando, (Sheldrake, 1982), (Lovelok, 1979), (Carsten, 1987).

La ciencia está teniendo un impacto poderoso en todas las áreas de la vida. Pero para conseguir tal progreso se han arinconado factores muy importantes. En primer lugar, ha habido una fragmentación total en nuestra actitud general hacia la realidad. Esto nos lleva a centrarnos siempre en problemas concretos, incluso cuando están significativamente relacionados con un contexto más amplio. Comenzamos a darnos cuenta de que el precio del progreso es cada vez una mayor especialización y fragmentación hasta el punto de que toda la actividad está perdiendo su significado. Preocupa de manera especial, la estrechez de miras con que se está desarrollando, no solo la física o la biología, sino en general la investigación científica.

Es cierto que la ciencia contiene también un movimiento hacia la síntesis y hacia el descubrimiento de contextos mas amplios y leyes mas generales. Pero la actitud predominante ha sido la de poner mayor énfasis en el análisis y en separar los factores clave de cada situación. Los científicos tienen la esperanza de que esto les permitira extender de manera indefinida su capacidad de predecir y controlar las cosas. Al concentrarnos en este tipo de análisis y dividir constantemente los problemas en distintas áreas especializadas, vamos ignorando el contexto mas amplio que da a las cosas su unicidad, (Bertalanffy, 1933, 1964 y 1968), (Henderson, 1978).

Durante mucho tiempo, las distintas ciencias actuaban de modo independiente, cada una en su esfera, sin intercambios, sin aparente contacto. En vez de ampliar sus horizontes y de encontrarse en sus fronteras, sus disciplinas se especializaban cada vez mas, reducían sus intereses, se concentraban cada vez en campos mas estrechos de la realidad. Actualmente gracias a la acumulación de los conocimientos la ciencias están en condiciones de realizar su unión, yuxtaponiendo los logros de las distintas disciplinas se puede establecer un vasto panorama del conocimiento,

cuyos acontecimientos ponen en relación y actúan unos con otros, como consecuencia de dichas disciplinas, oímos con frecuencia que no se puede ya cubrir un campo suficientemente amplio de investigación y de que hay demasiada especialización limitada, por lo que es necesario un enfoque más sencillo y unificado de los problemas científicos; necesitamos practicantes de la ciencia, no de una ciencia; en una palabra necesitamos científicos, generalistas (Bertalanffy, 1968).

Investigadores en campos muy diversos han descubierto independientemente conceptos generales muy similares. Semejantes correspondencias son tanto más significativas cuanto que se fundan en hechos totalmente diferentes. Quienes las crearon partieron de filosofías encontradas y aún así llegaron a conclusiones notablemente parecidas. Así concebidos los estudios integrados demostrarían ser parte esencial de la búsqueda de comprensión de la realidad. Vistas las cosas de este modo, la teoría general de sistemas, sería un importante auxilio a la síntesis interdisciplinaria y la educación integrada, (Forrester, 1971), (Bertalanffy, 1968).

b) CONSIDERACIONES FUNDAMENTALES EN EL CONOCIMIENTO Y SIMULACION MATEMATICA INTEGRAL DE LA NATURALEZA.

El conocimiento científico de la antigüedad fué sistematizado y organizado por Aristoteles, quien creó el esquema que sirvió de base a la visión occidental del universo durante dos mil años. No fue sino hasta el renacimiento que para alcanzar un mayor desarrollo de las ciencias occidentales, cuando el hombre comienza a liberarse a sí mismo de la influencia de Aristóteles y de la iglesia y muestra un nuevo interés hacia la naturaleza. A finales del siglo XV se realizó por vez primera una aproximación al estudio de la naturaleza con un espíritu realmente científico y se realizaron experimentos para probar ideas especulativas. Como este desarrollo fue seguido de un creciente interés por las matemáticas, condujo finalmente a la formulación de verdaderas teorías científicas basadas en experimentos y expresadas en lenguaje matemático. Galileo fué el primero en combinar el conocimiento empírico con las matemáticas y es, por tal motivo, considerado como el padre de la ciencia moderna.

En ocasiones, descubrimos que la naturaleza está regida por leyes matemáticas idénticas y de que estas ya han sido formuladas.

Las que se creían leyes independientes muchas veces resultan estar relacionadas entre sí, por lo que es de esperarse que un día no lejano la convergencia se conseguira por completo y llegaremos a una descripción perfectamente unificada de todas las leyes de la naturaleza. Podemos llegar a un conocimiento muy detallado de las partes del universo sin necesidad de conocerlo por completo. La ciencia no sería posible si no pudiéramos proceder en etapas parciales. Aunque habitamos en un universo repleto de sistemas complejos, somos capaces de filtrar una amplia gama de procesos físicos que son predecibles y matemáticamente tratables. Los sistemas lineales no son caóticos, ni muy sensibles a pequeñas perturbaciones externas. Ningun sistema es exactamente lineal, de modo que la cuestión de la separabilidad del mundo se reduce a saber porqué los efectos no lineales son tan pequeños en la práctica, probablemente porque son muy débiles, o de muy corto

alcance, o ambas a la vez. Se desconoce porqué las intensidades y alcances de estos sistemas son como son. Quizá un día seamos capaces de calcularlas a partir de una teoría fundamental. En la mayoría de los casos, el comportamiento de un sistema físico viene determinado por completo por las fuerzas e influencias que aparecen en su vecindad inmediata.

Desde hace tiempo sabemos que vivimos en un mundo pluralista, en el que tienen lugar tanto fenómenos deterministas como estocásticos. Es un mundo de inestabilidades y fluctuaciones, y éstas son, en última instancia, las responsables de la sorprendente variedad y riqueza de formas y estructuras que observamos, alrededor nuestro, en la naturaleza. El problema de la complejidad desde el punto de vista de la moderna teoría de los sistemas dinámicos, sirve para discutir algunos mecanismos gracias a los cuales los sistemas no lineales, sacados del equilibrio, pueden generar inestabilidades que, a su vez, dan lugar a bifurcaciones y ruptura de simetría. Los fenómenos complejos que aparecen en el marco de sistemas físico-químicos y biológicos así como en el mundo macroscópico conduce a una serie de conceptos tales como no equilibrio, estabilidad, bifurcación y orden de gran escala. El pensamiento complejo aspira al conocimiento multidimensional, pero sabe, desde el principio, que la totalidad implica el reconocimiento de un principio de incompletud y de incertidumbre. Lo simple no existe; sólo existe lo simplificado, por lo que lo complejo debe concebirse como elemento primario de la naturaleza. El cosmos es un proceso de desintegración y al mismo tiempo de organización y la vida no es una substancia, sino un fenómeno de auto-eco-organización extraordinariamente complejo que produce autonomía. Con Wiener y Ashby, la complejidad entra en escena en la ciencia y con Von Neumann el concepto de complejidad aparece enlazado con los fenómenos de autoorganización. El organicismo, quiso ver en la sociedad una analogía del organismo animal, investigando las equivalencias entre vida biológica y vida social, sin embargo la auto organización está más allá de las posibilidades de la Cibernética, Teoría de Sistemas y Teoría de la Información. En general podemos adelantar la hipótesis de que cuanto más madura sea una disciplina o una rama de la ciencia, tanto más comenzará a descubrir y señalar fenómenos y propiedades

que permitan establecer paralelos con los hallazgos logrados por otras disciplinas.

El conocimiento racional y las actividades racionales ciertamente constituyen la principal parte de la investigación científica, pero no son todo cuanto hay en ella. La parte racional de la investigación sería, de hecho, inútil si no estuviera complementada por la intuición que ofrece a los científicos nuevas perspectivas y les hace creativos. Las penetraciones intuitivas sin embargo, no son de utilidad a menos que puedan ser formuladas dentro de una estructura matemática consistente, suplementada con una interpretación en lenguaje sencillo. La abstracción es un rasgo crucial de esta estructura. Consiste, en un sistema de conceptos y símbolos que constituyen un mapa de la realidad.

La creencia predominante de que el formalismo matemático expresa por sí mismo la esencia de nuestro conocimiento de la naturaleza (sostenido por los pitagóricos y reafirmado por Kepler, quién creía que las matemáticas eran una fuente básica de verdad), no fué comunmente aceptada hasta época relativamente reciente. (James Jeans, 1930) afirmó que Dios tenía que ser un matemático y más tarde, (Heisenberg, 1971) tenía la idea de que las matemáticas son la expresión básica de nuestro conocimiento de la realidad.

Es difícil que la mente humana pueda clasificar y comprender todos los tipos diferentes de complejidad que se producen en los grandes sistemas. Sin embargo los avances en las matemáticas nos brindan ciertas perspectivas de comprensión con respecto a dos tipos de complejidad que suelen considerarse como opuestos y se denominan "caos" y "orden". Sin embargo hay cierto tipo de caos y de orden que son consecuencia del mismo tipo de estructura matemática, las ecuaciones no-lineales, versión moderna del filósofo griego Anaxágoras quién pensaba que los opuestos surgen de un absoluto carente de forma y que finalmente acaban por regresar a él.

El comportamiento en los sistemas de grandes dimensiones a menudo resultan imprevisibles y están sujetos a grandes variaciones como consecuencia de lo que parecen ser cambios secundarios, por lo que recibe el nombre de "comportamiento caótico", (Bohm y Peat, 1987) En los sistemas que manifiestan un comportamiento caótico, el más pequeño error que aparezca en

nuestro conocimiento acerca de su estado cuando empezamos a estudiarlos nos conducirá muy pronto a una incertidumbre total con respecto a sus condiciones reales. El comportamiento caótico no puede predecirse, aunque las ecuaciones fundamentales tengan un carácter determinístico. Maxwell señaló a mediados del siglo pasado, que ciertos fenómenos son imprevisibles en la práctica porque la forma en que se desarrollan dependen de manera decisiva de la situación específica que exista al comienzo de su desarrollo.

Las propiedades de los modelos básicos, sólo pueden entenderse dentro de un contexto dinámico, en términos de movimiento, interacción y transformación. Nunca se puede saber de antemano cuándo ni cómo van a ocurrir estos fenómenos. Sólo se puede predecir la probabilidad de que lo hagan, lo cual no significa que actúen de forma arbitraria, sino que los originan causas limitadas. El comportamiento de una parte está determinada por las conexiones ilimitadas que está tiene con el conjunto y puesto que es imposible saber con precisión cuáles son estas conexiones, hay que reemplazar la visión clásica y parcial de causa y efecto por un concepto más amplio de causalidad.

Las leyes de la naturaleza consideradas como leyes estadísticas donde según las probabilidades de que ocurran ciertos fenómenos, están determinadas por la dinámica de todo el sistema; es el todo lo que determina el comportamiento de las partes, (Yuann y Lake, 1977), (Bohm, 1980), y (Peters, 1985).

Es posible que cada vez, más fenómenos puedan cubrirse gradualmente y con una precisión siempre en aumento; mediante un mosaico de modelos que se entrelacen, cuyo número de parámetros no explicados pueda continuar disminuyendo. El adjetivo utilizado para esta situación no es nunca apropiado para ningún modelo individual, sino que solo puede ser aplicado a una combinación de modelos mutuamente consistentes, ninguno de los cuales es más fundamental que los demás, (Capra, 1979), (Stapp, 1971), (Weiss, 1971).

Ningun pensamiento puede ser absolutamente correcto cuando es ampliado de manera indefinida. El hecho de que una cosa tenga cualidades que van más allá de lo que pensamos y decimos sobre ella, se encuentra tras nuestra noción de la realidad objetiva.

Esta claro que si la realidad dejara en algun momento de mostrarnos aspectos nuevos que no están en nuestra mente entonces dificilmente podría afirmarse que tiene una existencia objetiva independiente de nosotros. Todo eso implica que cualquier tipo de pensamiento, es una abstracción que ni cubre ni puede cubrir la totalidad de la realidad. Todos tienen sus limitaciones, pero juntos llevan nuestro conocimiento de la realidad más lejos de lo que sería posible hacer con un sólo método, (Jung y Pauli, 1955), (Prigogine, 1980).

C) EL ENFOQUE ENERGETICO EN LOS PROCESOS DE LA VIDA, DEL CLIMA Y DE LA PRODUCCION.

Los seres vivos somos el resultado de una evolución de millones de años, dirigida por los cambios ambientales que nos rodean y a los cuales debemos adaptarnos para sobrevivir. Esta evolución nos presenta interesantes interrogantes acerca del balance de los organismos vivos con su medio ambiente, así como la observación de respuestas complejas en plantas y animales, (Monod, 1971).

La estabilidad de los sistemas en la naturaleza depende, de dos factores primordiales: La entalpía y la entropía. La primera es la cantidad de energía del sistema donde para valores pequeños de ésta, son observados mayores valores de estabilidad, mientras que la segunda es el grado de desorden o el equilibrio máximo en el cual no pueden existir más cambios físicos ni químicos, ni posibilidades de desarrollar trabajo y donde la presión, la temperatura y la concentración son uniformes en todo el sistema, (Fifkin, 1980).

La potencia da la razón de flujo de energía útil medida en unidades de tiempo. En todo proceso real se pierde energía útil, por lo que todo trabajo entraña una transformación unidireccional de la energía. Los procesos irreversibles aumentan la entropía, mientras que los reversibles hacen que esta permanezca constante. La reversibilidad está definida para los sistemas cerrados (clima); en los sistemas abiertos (biológicos) los procesos reversibles nunca ocurren, pero pueden definirse como casos limitantes de algunos procesos reales. Los seres vivos son sistemas abiertos, lo que les permite estructurarse como los sistemas más complejos, inestables, heterogéneos y menos probables que se conocen en la naturaleza, son los que logran un mayor nivel de diferenciación debido a la energía que obtienen de otros sistemas, los que a su vez se desordenan y dispersan para proporcionar un orden, siendo los únicos sistemas conocidos que pueden obtener una entropía negativa (negentropía) a expensas de aumentar la entropía del medio ambiente, (Margalef, 1963a, 1980), (Cesarman, 1984).

La transformación de energías microscópicas en una energía macroscópica dependiente de pocos grados de libertad, resulta ser uno de los principios fundamentales de los fenómenos biológicos. La energía es constantemente liberada y almacenada en los seres vivos, de acuerdo a la primera ley de la termodinámica, por lo que en ocasiones el éxito de algunos organismos en la competencia con otros a menudo radica en el mayor grado de eficiencia que poseen dichos organismos para utilizar la energía disponible. La liberación por almacenamiento de esta energía, así como su uso, es a través de los procesos metabólicos de los organismos vivos.

La razón de generación de entropía en un sistema abierto se describe en la termodinámica de estado estacionario, como la diferencia entre la potencia de entrada y la de salida. Los seres vivos somos un resultado de la energía solar. La célula es una máquina que transforma la energía solar radiante en energía química, utilizándola para diversos tipos de trabajo. El metabolismo de cada célula en el que interviene un intercambio de energía se desarrolla de manera cuasi-rítmica y periódica. (Jones, 1979).

La información se puede definir como una medida aditiva de la complejidad de un sistema y debe ser considerada como un parámetro básico para describir a los sistemas vivos. Todo organismo tiene su muy particular estructura y funciones en virtud de la información almacenada en su mecanismo genético, un organismo mientras más complejo sea, mayor será la información que requiere para alcanzar su estructura y menor será la entropía que representa ese estado. La organización y reducción de entropía requiere del uso de información, (Schroedinger, 1945), y (Jacobson, 1955). Sólo las estructuras disipativas que se mueven en la dirección irreversible del aumento de entropía son creativas; creando el movimiento, la vida y la organización y tanto más cuanto más lejos se hallen del punto de equilibrio, ya que en el mundo físico, el equilibrio puede ser una condición deseable, pero en los sistemas vitales, el equilibrio es la muerte, no existe flujo energético que se transmita de un sistema a otro. Y ese proceso es la vida, maravillando como de algo desorganizado como es la materia primordial pueden surgir estructuras tan complejas y organizadas como son los seres vivos,

(Arnheim, 1971).

El grado de ajuste de una comunidad a su ambiente o su aproximación a un equilibrio dinámico, es inversamente proporcional a la relación global de salida/entrada de energía. La baja eficiencia energética observada en la naturaleza es sólo una consecuencia de su tendencia a obtener la eficiencia óptima con un máximo poder de salida (Odum y Pinkerton, 1955).

Las energías potencial y cinética de un sistema ecológico, son agrupadas bajo la designación de producción (P) y respiración (R) respectivamente. Anualmente y en promedio, en un sistema cerrado tienden a ser iguales, en el verano p suele superar a R, pero en invierno R suele superar a P ($E = P + R$). Mientras que el bióxido de carbono del aire disminuye en primavera y aumenta en otoño, los promedios biosféricos de P y R se han estimado aproximadamente en un gramo de materia orgánica por metro cuadrado y por día, lo cual equivale a cerca de cuatro kilocalorías de energía potencial almacenada diariamente y vueltas a quemar. Los procesos de P y R de la biosfera están íntimamente ligados en el aspecto energético con los procesos físicos terrestres, su calor, sus vientos, corrientes de agua, etc. (Munn, 1970), (Geiger, 1969).

Cada uno de los cambios, ya sea en el régimen de radiación solar, la altitud, la lluvia o la temperatura requiere una respuesta de la comunidad de plantas y animales sometidos a ellos. Algunos organismos se adaptan y sobreviven, pero otros no lo consiguen y desaparecen. Ambientes parecidos ocasionan adaptaciones similares, y de este modo, en diferentes partes del mundo aparecen animales que tienen entre sí notables semejanzas, pero cuyos antepasados fueron completamente distintos. Así también al cambiar de posición, trasladándose hacia el ecuador o hacia los polos, la selva tendera a transformarse en tundra y los fértiles campos en desiertos, o viceversa, (Budyko, 1974), (Billings, 1978), (Lowry, 1970) y (Rosemberg, 1974).

Si bien los mecanismos de simulación cíclicos se observan fácilmente en los microcosmos, en la biósfera terrestre no es tan obvia esta relación, pero también parece funcionar por estimulación cíclica, pero con períodos más largos. La sucesión ecológica se relaciona a cambios fundamentales de la forma de flujos básicos de

energía. Conforme el ecosistema se desarrolla hacia la madurez (Climax), la relación P/R se aproxima a la unidad y las razones B/E, B/P o B/R aumentan. El comportamiento de la naturaleza no es la de maximizar la eficiencia de la producción como a menudo es lo deseable, sino la de optimizar la capacidad de sostén y la complejidad de la estructura de la Biomasa (B) tanto como sea posible por unidad de flujo de energía disponible. Las razones B/E, B/P y B/R son de gran interés teórico con respecto al desarrollo de la comunidad y la sucesión ecológica. En general la proporción de energía utilizada en la respiración, es grande en poblaciones de mayor tamaño tales como el hombre, árboles y comunidades de sucesión avanzada, mientras que en comunidades de tamaño pequeño, es la producción la que es relativamente grande, tales como en bacterias y algas, y en las primeras etapas de la sucesión ecológica, (Slobodkin, 1960), (Blum, 1951) y (Moreno et. al., 1989).

Los ecosistemas jóvenes (etapas primeras de la sucesión) se caracterizan por una elevada eficiencia productiva P/B, mientras que los ecosistemas maduros (etapas tardías de la sucesión) por una elevada eficiencia de mantenimiento. Para una determinada B (Biomasa), los ecosistemas jóvenes tienden a maximizar P (Flujo de producción) y tiene una elevada eficiencia productiva P/B mientras que los ecosistemas maduros tienden a minimizar P, logrando así una elevada eficiencia de mantenimiento B/P. Los ecosistemas jóvenes parecen entranñar producción, crecimiento y cantidad, en tanto que los maduros implican protección, estabilidad, calidad.

Para los sistemas jóvenes el flujo de producción es la fuente cuantitativa del crecimiento que se maximiza. Para los maduros, el flujo de producción es el costo de mantenimiento para proteger la estabilidad y la calidad del acervo que se minimiza.

La sucesión está caracterizada como una progresión hacia la máxima complejidad, diversidad, productividad y estabilidad; donde la estabilidad está relacionada con la cantidad de posibilidades que la energía tiene en pasar a través de los niveles de producción del ecosistema y la tasa de sucesión está determinada por el grado de balance o disponibilidad energética positiva en que se localiza, así por ejemplo; si la negentropía es igual mayor o menor a la entropía, implicará respectivamente que

en el primer caso el equilibrio se dará en el clímax, con los valores positivos del segundo caso se dará la sucesión y con valores negativos correspondientes a la última situación se presentará la senectud del ecosistema.

Con el aumento del grado de complejidad de las estructuras, se emplea cada vez más ahorrativamente el patrimonio energético, los sistemas son más capaces de difundirse y ampliarse con menos gasto de energía. Las reacciones bioquímicas de las enzimas que hacen posible el aumento de la complejidad estructural son mucho más eficientes, ya que utilizan la energía de la que disponen las moléculas de forma más ahorrativa en comparación con las reacciones de la química inorgánica, (Stevens, 1989).

Las mutaciones son los acontecimientos que introducen alteraciones y que por lo tanto, constituyen la base de la evolución biológica y pueden ser causadas por desórdenes moleculares que se producen a corto plazo y son imprevisibles. Son las responsables de que se produzcan organismos defectuosos (los que generalmente tienden a desaparecer), así como las que ofrecen la oportunidad de perfeccionar funciones todavía en desarrollo, (Laysen, 1975).

La evolución orgánica se da en una dirección de aumento de información. La evolución es la historia de un sistema en el curso de transformaciones irreversibles. El segundo principio de la termodinámica está fundado sobre consideraciones estadísticas idénticas a las que se establecen en la irreversibilidad, considerandose legítimo pensar en la irreversibilidad de la evolución como una expresión de este principio aplicado a la biosfera, (Ayala, 1987), (Kam y Wiener, 1967).

Todo se desarrolla o evoluciona hasta alcanzar formas cada vez más adaptadas a su entorno. Igualmente todos los cuerpos tienden a lograr la configuración que posea la menor energía posible, lo que se traduce en la tendencia a conseguir la adaptación más perfecta al medio, ya se trate de los seres vivos o de la materia inerte, ocupando las menores alturas posibles o efectuando la menor cantidad de movimiento, etc. Asimismo, las formas existentes en la naturaleza son precisamente aquellas que teniendo en cuenta todas las posibilidades tienen una mayor probabilidad de existir.

Dentro del dominio de la naturaleza, sus producciones se hallan limitadas por la escases de los recursos y por las restricciones impuestas por el espacio tridimensional, así como por las relaciones existentes entre los distintos tamaños de los objetos y por un peculiar sentido de austeridad, (Stevens, 1989).

La naturaleza manifiesta unas cuantas formas de geometría fundamental y luego las repite. Así, cuando vamos reduciendo o ampliando la escala de observación, comenzamos a encontrarlos con formas similares, donde lo grande repite lo pequeño o viceversa.

Algo similar a la escases de pautas, parece haber sucedido en la evolución de la materia, agrupando en conjuntos cada vez más complejos, elementos químicos, moléculas inorgánicas, células vivas, bacterias, vegetales, animales y hombres. En cualquier caso parece evidente que el universo entero bulle y palpita repleto de innumerables procesos de información, pero para que este proceso creativo tenga lugar, es preciso que haya energía abundante o que la vida haya nacido precisamente de las estructuras disipativas. El orden implica siempre la aplicación de un suplemento energético y eso es precisamente lo que ha estado haciendo la naturaleza durante millones de años, crear estructuras cada vez más organizadas que han acabado por desembocar en el punto máximo del orden: los seres humanos y nosotros, a su vez, seguimos repitiendo esa pauta natural, imponiendo al mundo entero una mayor organización, ordenando la naturaleza a nuestro modo con cada vez más desmesurados gastos de energía.

La Segunda Ley de la Termodinámica (aumento de entropía) mantiene la suprema posición entre las leyes de la naturaleza.

La termodinámica del desequilibrio se divide naturalmente en dos partes; la versión lineal que describe el comportamiento de sistemas cercanos al equilibrio, mientras que la versión no lineal trata de sistemas de los cuales está todavía lejano el equilibrio. Prigogine se dedico a analizar los sistemas lejos del equilibrio, donde la ley lineal se rompe, para ver si era posible generalizar sus ideas en un criterio de evolución que funcionaría para los sistemas no lineales. Lejos del equilibrio dichos estados estacionarios pueden pasar a ser inestables. Puede surgir un punto de crisis al que se refiere técnicamente como punto de bifurcación en el cual el sistema deja el estado constante, evolucionando en

cambio hacia algún otro estado. Un sistema solamente puede mantenerse lejos del equilibrio si está abierto a su entorno. La bifurcación representa el dilema con el que se enfrenta un sistema cuando ha alcanzado su punto de crisis termodinámica. Los nuevos estados que surgen, lejos del equilibrio pueden poseer un grado extraordinario de orden dentro del cual billones de moléculas coordinan sus acciones en el tiempo y en el espacio. Se acuñó el término estructuras disipativas para describirlos, dado que resulta del intercambio de materia y de energía entre sistema y entorno, junto con la producción de entropía por el sistema. Los procesos complejos y mutuamente dependientes que conducen a la formación de estas estructuras se llaman colectivamente autoorganización. Podemos ver que la creación espontánea de orden no está prohibida por la termodinámica, aunque la segunda ley se contemple comúnmente y erróneamente como si fuera un mecanismo de relojería para la degeneración uniforme hacia el desorden. Nuestro punto de vista cosmológico resultante de la temeraria aplicación de la termodinámica del equilibrio, implicaría que la evolución del universo es sinónimo de un crecimiento inexorable del azar que termina finalmente en el equilibrio termodinámico cuando cesa todo cambio. Pero el estudio de los procesos del desequilibrio ha mostrado que un universo que evolucione lejos del equilibrio no puede describirse en estos términos simplistas. Tenemos una descripción más optimista que ésta. En un universo semejante, la termodinámica irreversible del desequilibrio permite la posibilidad de una autoorganización espontánea que conduce a estructuras que van desde los planetas y galaxias hasta las células y organismos.

Si cambia el medio ambiente, tendremos que adaptarnos para sobrevivir, pero el cambio adaptativo provocará nuevos problemas en otros organismos y creará condiciones de selección. La inexactitud en la reproducción y los cambios geológicos y climáticos constituyen la fuerza motriz que impulsan el continuo desarrollo de los seres vivos y hay que tener en cuenta que desarrollo significa un aumento de la información genética.

d) ELEMENTOS BASICOS DEL PRONOSTICO EN LOS SISTEMAS CLIMATICOS Y PRODUCTIVOS

La naturaleza tiene que ser interpretada como materia, energía e información, donde el universo y sus formas de vida presentan una base azarosa pero no necesariamente accidental. Las fuerzas del azar y del no azar coexisten a través de una relación complementaria. Einstein descubrió que el movimiento Browniano se presenta frecuentemente en la naturaleza. Su matemática representativa no se basa en una simple relación de causa y efecto, sino en el azar y en la estadística. Wiener reconoció que el envío y recepción de mensajes tiene bastantes cosas en común con el movimiento Browniano. El lazo que une los dos conceptos es la estadística, una rama de la teoría de probabilidad; el principio maestro que se halla tras algunos de los más profundos descubrimientos de la física moderna. La secuencia de estos hechos espaciados en el tiempo, que no son conocidos por completo de antemano y que los matemáticos denominan estocásticos del griego "stokos", que significa adivinar, (Parsegian, 1972).

Al hacer este tipo de predicción, un matemático no considera un solo futuro, sino muchos futuros simultáneos, que pueden decirse que coexisten en sentido abstracto. La estadística no puede hacer nada con un solo dato. Un hecho aislado no tiene sentido. Necesita ser parte de un modelo de muchos hechos posibles, cada uno con cierta posibilidad de ocurrir, (Wiener, 1948), (Ashby, 1972).

Con el determinismo absoluto, se supone que con un conocimiento perfecto de lo que un objeto hace en el presente, es posible predecir con exactitud lo que hará en cualquier momento del futuro. Wiener expuso su firme convicción de que un científico nunca podrá tener un conocimiento perfecto de lo que una parte del universo hace en determinado momento, mientras lo observa. Como consecuencia, no hay esperanza de conocer con seguridad y en detalle lo que será en el futuro. El científico debe tratar de superar esta incertidumbre sobre el futuro considerando una gama de diferentes contingencias y asignando una probabilidad apropiada a cada una. Entonces puede señalar lo que quizá suceda en tal o cual conjunto de circunstancias. Estos nuevos conceptos de

comunicación y control, implican una nueva interpretación del hombre, del conocimiento, del universo y de la sociedad. Cuando un sistema es ordenado y por lo tanto improbable; cuando es pobre en entropía y rico en una estructura de escala macroscópica se puede saber más acerca de él que cuando es desordenado y rico en entropía. Gorolamo Cardano se percató de que la incertidumbre posee una estructura y de que una vez descubierta la clave de ella, el azar deja de ser una parte de la incertidumbre y se vuelve inteligible. La complejidad del mundo es ilimitada y sus partes están en continuo cambio. Nada de lo que se pueda afirmar sobre ella en un momento dado, puede servir para decirse que sea absolutamente cierto. La teoría de la información de Shannon se ocupa de este tipo de error como algo intrínseco y fundamental, donde las probabilidades sólo existen como resultado de la experiencia del experimento. Es imposible hablar de la probabilidad de un hecho aislado; tiene que haber muchos. El experimento debe continuar hasta que exista una razón de peso para creer de manera confiable que la frecuencia relativa se aproximaría a un límite fijo si el experimento continuara indefinidamente. El valor de este límite es la probabilidad. La probabilidad que se encuentra en la raíz de la teoría de la información, está relacionada con la cantidad y el tipo de conocimiento que poseemos sobre cualquier hecho o serie de hechos cuyo desenlace es incierto, (Shannon y Weaver, 1949).

Los conceptos de información y entropía se relaciona con la termodinámica, tendiendo a convergir y llevandonos a una teoría más general que practicamente lo abarca todo.

La expansión cosmica creó un conjunto de condiciones iniciales que hicieron posibles dos tipos totalmente distintos de procesos generadores de orden; la evolución cosmica y la evolución biológica donde la dirección de este proceso también se aparta irreversiblemente de la uniformidad, hacia nuevas formas de estructura y mayor complejidad. A lo largo de este sendero apunta también la flecha termodinámica, porque la entropía brota naturalmente como resultado de los procesos mismos que hacen surgir a los sistemas vivos e impulsan la máquina de la civilización humana, con su creciente dependencia de las máquinas

y de la tecnología moderna, degradadoras de energía, (Cook, 1971).

La entropía es información perdida como observó Boltzman hace más de 100 años. En los sistemas cerrados, la información perdida en la gran escala del macrocosmos se convierte en creciente información en pequeña escala del microcosmos. Si entendemos por sistema a un conjunto de elementos unidos por alguna forma de interacción o interdependencia de tal manera que forma una unidad con un objetivo en común, cualquier sistema real puede observarse de diferentes puntos de vista y cada uno da una perspectiva adicional sobre el mismo. Todas las perspectivas no igualan al sistema real, porque siempre es posible encontrar una adicional. La colección de puntos de vista permite la formación de un concepto de sistema a ser formado, (Bartenieff, 1980).

Un excelente ejemplo de relaciones entre diferentes niveles de conceptos, y entre estos y el mundo real, es dada por el campo de la termodinámica. Este hecho es utilizado por (Adem, 1964, 1970, 1991), para desarrollar un modelo termodinámico del clima. Imprimiendo por primera vez dentro del campo de la climatología, una visión holística dinámica e integradora, cuyas bondades de simulación y pronóstico presentan muchas ventajas sobre otros, incluyendo a los de circulación general de la atmósfera, para preferirlo en aplicaciones prácticas en muchos campos de la ciencia, quien sin embargo no deja de remarcar en (Adem, 1974) que no importa que tan complejos parezcan los modelos, estos son extremadamente simples si son comparados con la complejidad observada en la naturaleza. Este mismo enfoque o procedimiento de abordar el problema predictivo, es imposible de realizar para los sistemas biológico-productivos, debido a la falta de un mayor desarrollo de la termodinámica de sistemas abiertos, por lo que en la práctica se tiende a simularlos como un efecto resultante de un factor climático limitante, (Patron y Jones, 1989), (Versteeg, 1985).

El pronóstico del estado del tiempo por métodos numéricos (el cual podríamos considerar como posible auxiliar en los modelos de clima-producción) siempre comienza con las condiciones iniciales observadas a varios niveles y para ciertos tiempos y para áreas bastante grandes (como un hemisferio). En la realización del

computo de cada iteración, de aproximadamente 5 minutos se inicia esta de la última predicción que ha sido calculada, siguiendose este procedimiento para varios días. El propósito consiste en pronósticar el viento a diferentes niveles y con la ayuda de modelos termodinámicos y de dinámica de fluidos obtener indicaciones de desarrollo y trayectorias de tormentas y de estos sistemas de vientos deducir pronósticos de temperatura y precipitación asistidos incluso por el uso de procesos estadísticos. Predicciones detalladas de los métodos numéricos iterativos aún para cuando se tenga la información perfecta no va más allá de un par de semanas, llegando en ocasiones a rebasar las predicciones de los resultados de métodos climatológicos probabilísticos. Aunque no existe una evidencia generalizada de esto, se espera que con una mayor y mejor información en las observaciones combinado con un mayor conocimiento de la modelación atmosférica se mejoren dichos resultados ya que si bien estas metodologías están aún muy lejos de ser perfectas, si indican que los métodos contienen algún entendimiento del comportamiento atmosférico a largo plazo.

El uso de análogos de situaciones similares en el pasado como guías de pronósticos del futuro como son; las tendencias a largo plazo, teleconexiones, ecuaciones de regresión, funciones ortogonales empíricas, contingencias climatológicas (indicando probabilidades de ocurrencia después de observadas ciertas condiciones atmosféricas), el uso de anomalías en la cubierta de nieve, temperatura superficial oceánica y humedad del suelo (para determinar probables patrones de forzamiento y estabilización) se siguen utilizando mientras no se tenga el método numérico de pronóstico adecuado y confiable.

Las ecuaciones que rigen la circulación atmosférica y de los que dependen por lo tanto el clima tienen la propiedad de la inestabilidad exponencial, donde a una condición inicial dada de cierto estado de la atmósfera (presión, temperatura y humedad) corresponde una evolución futura perfectamente determinada, resultado de un cálculo en el que el azar no interviene. Si modificamos ligeramente esta condición inicial, este cambio infimo tendrá sólo pequeñas consecuencias en los primeros instantes, pero este cambio tendrá tendencias a amplificarse en el tiempo a un

ritmo exponencial. Esto quiere decir que, si se pretende prever lo que haya de ocurrir, es menester realmente tener en cuenta todo lo que nos rodea. Von Neumann se dió cuenta de las limitaciones de esta manera de encarar las cosas y comprendió que la indole de las ecuaciones en relación con las condiciones iniciales impediría siempre todo pronóstico preciso a largo plazo, pero llegó también a una conclusión más original; la posibilidad de que esa misma inestabilidad permitiera tal vez dirigir el tiempo. Acaso fuera más fácil dirigir el tiempo que preverlo.

La inestabilidad exponencial y la dificultad de predecir que es su consecuencia, son fenómenos corrientes que se manifiestan en situaciones muy variadas tanto en las más simples situaciones como en las más complejas. El tiempo que observemos dentro de un año revelará informaciones sobre el estado de la atmósfera de hoy, a excepción de las informaciones en una escala demasiado fina y que no podamos percibir las directamente. Sin embargo, es más práctico considerar que hay creación de información con el correr del tiempo y decir que la evolución futura del sistema depende del estado actual y del azar.

En tanto que condiciones geográficas semejantes produzcan efectos climáticos semejantes, no es cierto que condiciones atmosféricas semejantes, produzcan condiciones atmosféricas semejantes. La inestabilidad exponencial impide toda previsión cuantitativa a largo plazo, pero no excluye previsiones de orden cualitativo incluso en plazos mucho mayores.

Los científicos de hace 100 años sabían bien que un sistema determinista puede comportarse de un modo aparentemente aleatorio. Pero también sabían que no era realmente aleatorio; sólo lo aparentaba debido a una información imperfecta. Y también que esto sólo ocurría en sistemas muy grandes y complicados con muchísimos grados de libertad, muchísimas variables distintas y muchísimas partes constituyentes, sistemas cuyo comportamiento detallado parecería estar siempre más allá de la capacidad de la mente humana. El progreso completo de la ciencia estaba basado en la creencia de que la forma de buscar la simplicidad en la naturaleza es hallando ecuaciones diferenciales para describirla. Ciertos impulsos innatos hacen que la humanidad se esfuerce por comprender las regularidades de la naturaleza, por encontrar las leyes

ocultas tras las complejidades del universo, por extraer el orden a partir del caos. La realidad práctica es que la matemática constituye el método más efectivo y fiable de que disponemos para el entendimiento de nuestro alrededor. Conforme una teoría suplanta a otra y un paradigma destrona a otro paradigma, una cosa permanece constante, la aplicabilidad de la matemática.

Estariamos mucho mejor, si hubiese más gente, no sólo en la investigación, sino también en el mundo de la política y economía, que comprendiera que los sistemas simples no poseen necesariamente propiedades dinámicas simples.

Del mismo modo que en el siglo XVIII se creía en un mundo que funcionaba como un reloj, a mediados del siglo XX se creía en uno lineal. La teoría del caos al estudiar estructuras irregulares presentes en el mundo natural ha descubierto que en ciertos sistemas deterministas se producen comportamientos que, por su aparente aleatoriedad, son completamente impredecibles.

La ciencia de hoy en día muestra que la naturaleza es inexorablemente no lineal. La matemática clásica se concentró en las ecuaciones lineales por un motivo lógico: no se podía resolver ninguna otra cosa. La matemática de los procesos estocásticos, floreció junto con la matemática de los procesos deterministas. Dos formas de ver al mundo, dos paradigmas, dos ideologías matemáticas. El determinismo para los sistemas simples con pocos grados de libertad, la estadística para los sistemas complicados con muchos grados de libertad y cualquier sistema o bien era aleatorio o no lo era, (Lazlo, 1972a).

Hace falta un generalista para darse cuenta de lo que es realmente importante y de que hoy en día existen signos de una nueva unificación de las matemáticas. Tradicionalmente las ciencias buscan estructuras y regularidades en los datos que tienen probabilidades de encontrar algún sentido en ellos. Así actualmente uno de los principales problemas que enfrenta la ciencia consiste en diferenciar el caos determinista y el estocástico. El orden y el caos determinista proceden de la misma fuente; los sistemas dinámicos descritos por ecuaciones diferenciales no lineales. Los regímenes ordenados muy a menudo son más importantes para la biología y la vida misma que los caóticos. La evolución caótica refuta cualquier predictibilidad a

largo plazo y las medidas registradas en un experimento no pueden repetirse nunca. Sin embargo, el caos, puede seguir siendo interpretado en términos del concepto de atractor. Aunque las ecuaciones diferenciales de los sistemas irreversibles y de su evolución en el tiempo sean determinísticas, su sensibilidad anula el ensueño de un universo exacto y predecible. La más ligera incertidumbre, que siempre habrá en el mundo real, da al traste con la predicción. El atractor contiene una infinidad de posibilidades, aunque confinadas en una región finita, el sistema se ve que adopta configuraciones diferentes a medida que pasa el tiempo sin repetirse nunca. Lo que significa que el sistema formula formas dentro de formas. Un atractor extraño o atractor caótico es completamente distinto a los atractores de punto fijo y ciclo límite, aunque también es estable pero al contrario de un ciclo límite muestra una enorme sensibilidad respecto a las condiciones iniciales; el comportamiento a largo plazo de un sistema atrapado por un atractor extraño depende hasta los detalles más pequeños de como empezó y a diferencia de un ciclo límite, es un objeto fractal; presentando una invariancia de escala ya que su forma es la misma sin importar la escala en que se contempla el objeto. El descubrimiento de los fractales ha revelado una nueva forma de contemplar infinitos niveles de complicación de la naturaleza. En el caos resultante de ecuaciones dinámicas determinísticas no lineales se generan internamente propiedades intrínsecas diferenciándose de los efectos incontrolados del azar y de las fluctuaciones estocásticas.

La atmósfera es un sistema de una enorme complejidad, en el que se observa que regiones muy alejadas por las distancias terminan por influirse recíprocamente. El carácter aleatorio de todo pronóstico parecería deberse sencillamente a la imposibilidad de dominar todos los parámetros significativos. Sin embargo, no por el hecho de que el sistema sea complicado su comportamiento es imprevisible, existen sistemas muy simples cuyo comportamiento es también muy complicado, así por ejemplo (Lorenz, 1963) ha reducido la multitud de ecuaciones que rigen la evolución de la naturaleza a solamente tres y demostrado que este modelo reducido conservaba la complejidad casi infinita del original. Lorenz trató de crear un modelo matemático del flujo del clima atmosférico tan sencillo

como fuera posible y al mismo tiempo respetara los aspectos físicos esenciales. Utilizó ecuaciones no lineales acopladas con el mínimo requerido, surgiendo un atractor extraño, aunque dicho atractor no se ha demostrado rigurosamente de que sea un atractor extraño. Observé que si se añaden más variables a las ecuaciones de Lorenz en un intento de que el cuadro sea más realista, el caos se vuelve más difícil de encontrar.

Sigue siendo una empresa gigantesca el formular una teoría completa de todos los supuestos en los cuales puede emerger el caos. Las personas que por el relieve exagerado que se otorga habitualmente al caos no lineal, en su visión (que difiere de la autoorganización), reconocen que cuando se trabaja con semejantes sistemas, en algún punto es casi inevitable encontrarse con tal fenómeno. Sin embargo es discutible que ello tenga una significación intrínseca profunda. Muchos parecen contentarse con buscar el caos en problemas modelo y calcular la dimensión fractal de los atractores extraños resultantes. Suponiendo que ello sea útil, lo será solamente para inflar la literatura científica. Se sabe bastante acerca de ciertas situaciones que generan caos. Se pueden derivar atractores extraños al romperse un estado regularmente oscilante regido por ciclos límite y periódicos o de estados estacionarios independientes del tiempo, gobernados por atractores de punto fijo.

El determinismo macroscópico que impera en la escala de la meteorología, es reducible al azar cuántico gracias a las leyes de la estadística que se aplican a la presencia de grandes cantidades de partículas. Así, podemos decir que el azar parece ser el dato fundamental y el mensaje último de la naturaleza. Decir que el mundo no tiene sentido, significa que no discernimos en él ninguna regla, que no comprendemos el pasado y que no podemos predecir su futuro; decir que tiene un sentido, significa, si ese sentido fuese perfectamente comprendido, que el pasado y el futuro están abiertos ante nosotros como un libro. La verdad parece que se sitúa a la mitad del camino entre ambas, es decir que podemos discernir un sentido pero solo de tipo local, lo cual nos permite actuar en ciertas direcciones, pero en otras parece que se nos escapa. Podemos encontrar al mundo un sentido, pero este será solamente en el sentido probabilístico. Las series

engendradas por iteración de sus elementos, aún cuando parezcan aleatorios representan un mundo puramente determinístico en el cual el futuro es previsible partiendo del pasado. Las series contingentes para un mundo desprovisto de sentido en el que se rechaza cualquier regla, se pliegan dócilmente al cálculo de las probabilidades. Estos dos modelos constituyen los polos entre los cuales oscila nuestra comprensión del mundo. A medida que nos alejamos de uno nos aproximamos al otro.

Pronosticar el estado del tiempo es una cosa, pronosticarlo correctamente es otra. El principal defecto de los métodos actuales de predicción del estado del tiempo es que no son muy buenos en predecir cambios repentinos. Por lo que podemos decir que podemos pronosticar siempre y cuando no ocurra nada inesperado.

La aplicación de la ecuación logística discreta, no solo pone de manifiesto la aparición del caos, sino también la manera en que éste puede ser creado. La aplicación logística muestra que los cambios drásticos no tienen que tener causas drásticas. Para estudiar la dinámica de la ecuación logística debemos contemplar su comportamiento a largo plazo, sus atractores. El mismo extraño ordenamiento no sólo es válido para la aplicación logística, sino también para las iteraciones de cualquier aplicación de curvas de tipo unimodal. Los modelos del caos podían ser universales, es decir, no específicos, para ejemplos individuales, sino representativos de clases enteras de sistemas, (May, 1976).

La cadena lineal de la causalidad y el poder profético de sus ecuaciones matemáticas han dominado la ciencia durante tantas generaciones que ahora es difícil ver dónde hay lugar en el universo para la libertad, la novedad y la creatividad.

Para los filósofos la idea de causalidad no es del todo clara bien fundamentada y no resiste un punto de vista estrictamente lógico. La cadena de la causalidad lineal es una mezcla de costumbres, creencias y sentido común, por lo que es necesario romper el dominio que ejerce sobre nosotros. A medida que la ciencia explora más profundamente en su universo de flujos internos y desarrollos dinámicos, de influencias sutiles y escalas de tiempo, las cadenas causales ya no se pueden analizar y reducir a conexiones lineales de sucesos individuales, de modo que el

concepto mismo de la causalidad empieza a perder su fuerza. Cuando la causalidad y el determinismo se utilicen en algo tan complejo como un sistema ecológico, las redes empleadas se vuelven más complejas, hasta el extremo de que las teorías y modelos matemáticos corran peligro de desmoronarse. La física clásica pareciera haber mostrado que la causalidad existía al nivel de la vida cotidiana. En un universo que parece ser extremadamente causalista, el indeterminismo trae consigo una nueva visión del mundo, cuyas repercusiones tal vez apenas han comenzado a socavar los cimientos de la física clásica, echando abajo las ideas sobre la conexión de los acontecimientos. Fue Willard Gibbs el primero en reconocer que el universo es predecible sólo dentro de límites estadísticos, es decir que no podemos seguir ocupándonos de lo que siempre ocurre, sino de lo que ocurre una abrumadora mayoría de las veces. Todos los sistemas pueden ser descritos en forma estadística. La aparente causalidad del universo se debe al hecho de que las probabilidades en los sistemas mayores, más que en los pequeños son aproximadamente iguales a uno. El azar no es un nuevo instrumento matemático aplicable a la física, sino que forma parte del mismo entramado de ésta. Ello implica que la apariencia de la causalidad en la vida cotidiana es un puro engaño estadístico. Esta visión implica que todas las realidades posibles coexisten dejando fuera todas aquellas que no pueden aceptar las propias intuiciones. Vivimos en un universo participativo, (Peatt y Briggs, 1990).

Si se examina detalladamente a cualquier fenómeno resultará que el todo es lo que causa todas las demás partes. Por otra parte puede ser que los efectos más sutiles resulten ser cada vez más importantes. Al afirmar que el todo causa todo lo demás se da a entender que los fenómenos de la naturaleza se originan en los cambios frecuentes del conjunto y que se describen mejor con una ley del todo. Mientras que la causalidad lineal puede funcionar suficientemente bien para sistemas limitados, mecánicos y aislados, en general se necesita algo más delicado y complejo para describir la extensa riqueza de la naturaleza. Existe una economía en la naturaleza, el movimiento y el cambio surgen del universo como un todo. Lagrange, Fermat y Euler, demostraron que el movimiento y el cambio, siempre se consigue de un modo que

minimizan la acción de la naturaleza. Max Plank, creía que los principios de variación eran universales y que deberían aplicarse a todo tipo de comportamiento dentro del universo; donde los principios de variación sugieren que los movimientos de la naturaleza son completos, de una manera similar y solamente se pueden entender en un sentido total. La teoría de la relatividad y la teoría cuántica son consecuencia lógica de los principios de variación. Esta nueva dinámica demuestra que todo movimiento y cambio surge de una ley del todo y que los patrones y sucesos de la naturaleza son la expresión de una unidad fundamental de forma. La ciencia es un intento de comprender la naturaleza, es un planteamiento objetivo en que nada se da por supuesto y la razón y el experimento son inseparables, considerado dentro del contexto de una percepción directa de la totalidad de las cosas y la unidad de la naturaleza. Todo lo que ocurre, en nuestro universo es causado por todo lo demás. La totalidad del universo se revela o se expresa en sus acontecimientos individuales. Las ciencias naturales acabarán englobando la ciencia del ser humano y a un mismo tiempo, la ciencia del ser humano englobará las ciencias naturales; no habrá más que una ciencia.

Un modelo de simulación clima-producción puede ser definido como una representación simplificada de los mecanismos fisiológicos, químicos y físicos de la planta y de sus procesos de crecimiento. Si los procesos básicos de producción y distribución en la planta y sus relaciones con el agua son propiamente entendidos y modelados, la respuesta de la planta a condiciones ambientales puede ser simulada, mostrando los factores limitantes de su crecimiento.

La simulación será mas útil si el modelo considera los fenómenos mas relevantes y no contiene consideraciones inadecuadas, para proveernos de una visión real en las relaciones clima-producción, donde es posible evaluar procesos específicos como fotosíntesis, transpiración o respiración. La simulación debe ser considerada más como una guía de investigación del comportamiento del sistema biológico que como una solución final; explicando porqué algunos factores son más importantes en la producción que otros, y dandonos las bases para nuevos experimentos sobre procesos aparentemente importantes pero no lo

suficientemente entendidos. El desarrollo y prueba de estos modelos de simulación requieren de una visión interdisciplinaria.

Los sistemas de predicción pertenecientes al análisis de los modelos clima-producción, son sistemas basados en procesos de causa-efecto:

El diseño de estos sistemas predictivos se basa en la hipótesis de que las tasas de crecimiento de la planta, reflejadas en el crecimiento acumulativo logístico durante el proceso formativo de desarrollo de la planta están correlacionadas con el rendimiento productivo.

Los máximos en las curvas clima-producción, nos dan el óptimo ambiental para un fenótipo, su altura es la medida de su mejor realización en ambientes óptimos y el grosor de la curva, la medida de la tolerancia para ambientes no-óptimos.

Esta tolerancia será una medida de su homeostásis.

En general podemos decir, que un ecosistema será más complejo conforme sea más maduro, cualidad que aumenta con el tiempo en que permanezca sin ser perturbado. La sucesión nos lleva a considerar como más maduro o más complejo al ecosistema, cuando está compuesto de un mayor número y grado de interacción de sus elementos; largas cadenas alimenticias, un uso más completo del alimento, relaciones bien definidas o más especializadas, situaciones más predecibles, promedio de vida mayor, menor número de hijos y la organización interna pasa por perturbaciones aleatorias a ritmos cuasi-regulares.

La madurez tiene un doble significado; en su aspecto estructural puede ser medido en términos de diversidad o de complejidad sobre un cierto número de niveles. En los aspectos relacionados a la materia y a la energía, puede ser medida como producción primaria por unidad de biomasa total.

Los índices de diversidad expresan la distribución de los individuos dentro de las especies en el ecosistema. Los organismos pequeños, usualmente muestran un menor grado de organización y madurez que los animales mayores, quienes muestran patrones definitivos de distribución. Pero aún para escalas locales la distribución de organismos no es aleatoria, demostrándose la existencia de leyes naturales capaces de pronosticar patrones ecológicos, aunque momentáneamente no fuera factible su

formulación matemática. Si los patrones de abundancia relativa, resultan de la interacción de muchos factores independientes, una distribución log-normal, es pronosticable por la teoría y es lo usualmente encontrado en la naturaleza. En grupos relativamente pequeños y homogéneos de especies, donde un factor pueda predominar ó ser el factor limitante, nos lleva a distribuciones de "vara rota", mientras que lo opuesto nos lleva a distribuciones logarítmicas. Esto es que la distribución log-normal refleja el "teorema de límite central" ó "ley de los grandes números". En cambio, circunstancias especiales donde la distribución de "vara rota", "series geométricas" ó "distribuciones logarítmicas" son observadas, éstas reflejaran las características intrínsecas de la comunidad biológica.

Un ecosistema con una estructura compleja es rica en información y necesita una menor cantidad de energía para mantener esta estructura. Sus interrelaciones ó canales de comunicación funcionan en promedio más eficientemente, permite el mantenimiento de la misma biomasa con un suplemento menor de energía ó una biomasa mayor con el mismo suplemento energético. La única limitante a este cambio progresivo es la interferencia del ambiente físico. Un ecosistema que no está sujeto a perturbaciones fuertes del exterior, cambia de manera progresiva y direccional, convirtiéndose en más maduro, con incrementos de la complejidad de su estructura y disminución del flujo de energía por unidad de biomasa. En el caso de ambientes fluctuantes, el ecosistema estará compuesto de especies con una razón reproductiva alta y menores requerimientos especiales, con menor diversidad y menor complejidad y su flujo de energía por unidad de biomasa permanece relativamente alto. Al variar las condiciones impuestas a un sistema, éste dependiendo de su naturaleza, puede presentar diversas formas de comportamiento. Es casi imposible hacer predicciones detalladas acerca de las subdivisiones de las mayores unidades ecológicas, aunque es generalmente posible hacer predicciones sobre el tipo de organismos presentes y ausentes. Así también si se desea pronosticar futuros procesos de producción, sería necesario tener una descripción de estos sistemas en su ambiente particular, que incluya tantos detalles relevantes como sea posible. Debemos estar interesados en todas las interacciones

que controlan ó alteran el número ó tipo de organismos encontrados en una región dada; ya que una noche fría o una hora de fuerte viento pueden producir grandes diferencias en el mundo biológico. Tal información puede ser construida en una simulación poblacional, que puede ser usada para predecir los efectos de políticas particulares de administración. El valor de la simulación es obvia pero su utilidad reside principalmente al analizar casos particulares. Una teoría ecológica debe de hacer afirmaciones sobre el ecosistema como un todo global, así como de especies y de tiempos en particular y afirmaciones válidas para muchas especies y no solamente para una. El comportamiento de todo el sistema depende esencialmente de su complejidad y el comportamiento individual de las especies dependerá del todo. La alternativa es intentar analizar la naturaleza de tal forma que pueda ser descrita en una forma rigurosa donde las predicciones puedan ser derivables mediante procedimientos reproducibles; siendo capaces de definir en algún grado, la diferencia entre lo que conocemos sobre bases teóricas y lo que nos falta por hacer, antes de que podamos realizar predicciones más seguras. La ecología es aún una rama de la ciencia en la que usualmente es mejor confiar en el juicio de un experimentado practicante en contacto diario directo con los problemas reales que en las predicciones de un teórico.

Una descripción matemática precisa de los sistemas productivos puede incluir cientos de parámetros; muchos de los cuales son difíciles de medir y cuyos resultados esperados de las muchas ecuaciones diferenciales parciales simultáneas no-lineales de simulación, usualmente no tienen solución, para conseguir respuestas que son complicadas expresiones de los parámetros y que no son fáciles de interpretar. Claramente se observa la necesidad de diferentes metodologías para tratar con estos sistemas que son intrínsecamente complejos. Las fluctuaciones ambientales, parches y productividad pueden combinarse para algunos propósitos de medida global de incertidumbre ambiental.

La relación; productividad/biomasa, es el metabolismo por unidad de biomasa. Su razón de cambio es negativo a lo largo de la sucesión. El cociente; biomasa/productividad puede definirse como la cantidad de información que puede ser mantenida con un gasto

definido de energía potencial. Tomando a la información en el sentido de algo a lo que la vida ha llegado a través de una serie de decisiones y que influye de una u otra manera en posibles futuros eventos. La "entropía organizacional" será una medida del costo energético por unidad de desarrollo y puede extenderse para cubrir un amplio rango de ambientes, a costa de ir reduciendo la eficiencia de su óptimo. Donde la noción de "grano" procede del tamaño de los parches ambientales. Si el parche es lo suficientemente grande y uniforme el grano es "grueso", mientras que si los parches son pequeños de tal forma que el individuo se mueve en varios de los parches, tendremos un ambiente de "grano fino".

La forma de la "función adaptativa" puede variar de la forma de hipérbola a la forma lineal y en cualquier caso, la estrategia óptima está representada por el punto en que la línea toca la curva.

1.- MODELOS CLIMATICOS DE SIMULACION Y PRONOSTICO DE COSECHAS.

En las últimas décadas, la investigación de las relaciones clima-producción ha recibido mucha atención por parte de científicos que trabajan en una gran variedad de disciplinas. El reconocimiento del impacto del estado del tiempo y del clima en la producción de cultivos y por lo tanto, en el suministro mundial de alimentos se ha traducido en un renovado interés por una continua vigilancia mundial de las previsiones relacionadas con los cultivos. Esta información es de vital importancia para las organizaciones nacionales o internacionales que se ocupan de la planificación ordenada de la producción y distribución de alimentos, especialmente los cereales. Se han reportado numerosas publicaciones en aspectos específicos del estado del tiempo y del clima en relación al rendimiento de cultivos. Sin embargo, la aplicación práctica de este conocimiento no ha progresado al extremo que pudiera esperarse. Una razón para este lento desarrollo ha sido la aparente falta de interés por parte de políticos y planificadores de los años 50's y 60's en los países mayormente exportadores, quienes debido a los excedentes existentes, consideraban que no era necesario monitorear el efecto del clima en la producción agrícola sobre tiempos reales. Sin embargo, meteorólogos agrícolas continuaron desarrollando sus modelos y demostrando la factibilidad de proveer en tiempo real estimaciones regionales de producción basados en la información meteorológica, (Vitkevitch, 1968) y (Montieth, 1965a, 1975 y 1976).

La complejidad de las interacciones entre factores físicos, biológicos, económicos, sociales y políticos en la producción de alimentos sugiere que para el desarrollo de la agricultura moderna se requiere de una visión de administración integrada, donde todos estos factores sean analizados sistemáticamente en un contexto de condiciones regionales, ejerciendo un gran cuidado para asegurar que no se presenten daños irreversibles en los agroecosistemas, considerando que tanto el clima, como los suelos, nutrientes, irrigación, cultivos adecuados, control de plagas y prácticas adecuadas en el manejo administrativo contribuyen a la productividad alimenticia. Es necesario conocer los efectos del clima del pasado sobre la producción de alimentos, para minimizar el daño a la sociedad cuando tales fluctuaciones inevitablemente

ocurran, ya que sabemos que importantes variaciones climáticas para la producción de alimentos se han venido observando desde los años 70's. Al mismo tiempo es necesario desarrollar la capacidad de predecir tanto a las variaciones climáticas como de su impacto sobre la sociedad, minimizando el impacto humano de la fluctuación climática a través de la creación de reservas de alimentos y mejores sistemas de distribución, de la diversidad en los patrones de cultivos y mantener potenciales productivos a lo largo de sus nuevos cultivos o de los ya existentes a través de prácticas consistentes con los climas locales. La historia muestra que el clima nunca ha estado estacionario y existe cierta evidencia que sus fluctuaciones pueden estar incrementándose en frecuencia y severidad lo que nos llevará a suplementos erráticos de los alimentos particularmente en países en desarrollo con falta de apoyo financiero institucional y uso de tecnologías poco apropiadas.

Considerando que para el año 2000 seremos 6000 millones de habitantes y de que estos deben ser adecuadamente alimentados, esto significa, que hay que duplicar la producción de los años 80's. Si consideramos que las tres cuartas partes de la tierra cultivable reciben insuficiente lluvia en los tiempos adecuados para el crecimiento de los cultivos y de que las fluctuaciones anuales en la producción de granos son una característica aceptada en el suplemento mundial de granos, pero debido a las condiciones adversas de 1972 simultáneamente sobre las mayores zonas productoras de granos del mundo, se observó que la repetición de estas condiciones sobre años sucesivos tendría efectos desastrosos tanto para los países en desarrollo como en vías de desarrollo. Existe evidencia además que en décadas pasadas los patrones estacionales del tiempo no mostraron la variabilidad o extremos que pueden ser esperados en periodos largos de tiempo. La tendencia climática benévola observada resultó en una serie de años con altas cosechas, pero no puede esperarse que dichas cosechas se presenten en los años por venir. Esta nueva situación general de los granos con su dependencia en la variabilidad del tiempo, nos lleva a un renovado interés sobre la necesidad de dar una consideración más seria al análisis de nuestro clima como un recurso natural y a la necesidad de monitorear e interpretar la información histórica

existente en términos de condiciones agrícolas esperadas y rendimientos, donde los modelos clima-producción pueden ser útiles para la interpretación de fluctuaciones climáticas en términos de su impacto en la producción agrícola. Desde el arribo del uso de las computadoras en las ciencias agrícolas, la simulación de cosechas se ha puesto muy en boga. Los científicos tienen la disponibilidad del vasto conocimiento disponible y de que los procesos fisiológicos individuales de la planta pueden ser integrados para explicar el comportamiento de los campos de cultivo. Como resultado de esto varios modelos de crecimiento de cultivos han sido desarrollados para cultivos específicos así como para crecimiento de biomasa en general. Todos ellos tienen en común que los elementos esenciales que son incorporados son bien comprendidos. En general, estos modelos son bastante complejos y su principal objetivo es servir como una herramienta en la investigación agrícola, para la formulación de hipótesis y el diseño de experimentos. Predicciones confiables de modelos de simulación de crecimiento de las plantas están disponibles para situaciones donde la radiación solar y la temperatura determinan el crecimiento del cultivo, o donde la disponibilidad del agua puede ser el factor limitante (Penning De Vries, 1983).

Además de ganar en una mayor visión general del funcionamiento de los sistemas biológicos como razón para el desarrollo de modelos de simulación de crecimiento, otra fuerte motivación ha sido la esperanza de que tales modelos puedan transformarse en herramientas predictivas (Witt and Penning de Vries, 1982). Sin embargo, a menudo cuando los modelos de simulación son usados para situaciones donde pocos datos del lugar son disponibles, las predicciones parecen desviarse considerablemente de los datos observados. En algunas situaciones, tales desviaciones pueden ser explicadas por el efecto del factor ambiental local, que el modelo no considera para influencias como; temperaturas bajas nocturnas o resistencia mecánica del suelo sobre el crecimiento (Versteg, 1985). Pero aún en el caso de que tales omisiones no jugaran un papel importante, los modelos exactos predictivos para situaciones específicas a menudo requieren gran cantidad de información de los cultivos en relación al sitio de interés, tales como el desarrollo del área foliar, la razón de asimilación de hojas individuales, el valor de

7

saturación de la luz y la temperatura de referencia para el cálculo de la respiración de mantenimiento. (Versteeg, 1985) demostró que las variaciones en los factores que pueden afectar considerablemente los resultados de la simulación, pueden hacer que los modelos más sofisticados y detallados, son de poca utilidad, si no existen disponibles datos exactos y confiables. Esta observación coincide con (Penning de Vries, 1982a) quien señala que modelos simples a menudo tienen un valor predictivo similar al de modelos más complicados, (Jackson, 1980), (Michalczyk, 1979).

IV.- EL MODELO PROPIEDADES Y ALCANCES

1.- OBSERVACIONES.

Se divide el capítulo en dos grandes subtemas: En la primera parte se dan los fundamentos y aspectos básicos del modelo con una visión tanto determinística como estocástica del problema. En la segunda parte se incorporan las aportaciones, tanto en aspectos climáticos como productivos. En el primer caso se obtiene una visión general del campo de estudio, analizando temas como; Modelos de producción, efectos de densidad-dependencia, retrasos, aleatoriedad, regímenes caóticos, inestabilidad climática, ecuación de difusión y posibilidades de extinción. Los aportes de la segunda parte se inician al obtener una expresión de las tasas de explotación óptima, de la combinación del modelo logístico generalizado y el modelo de Leslie. Expresión deseada porque suma los beneficios de ambos procedimientos. La capacidad de sostén es determinada por metodologías simples de Teoría de Filtrado, lo cual nos permite a través de procesos de transferencia energética transformar un factor climático (radiación) en un factor Biológico (Producción). En seguida se incorpora el efecto limitante del clima en un modelo de producción basado en relaciones empíricas que nos permite finalmente obtener los valores de equilibrio del sistema. El modelo logístico se vuelve a utilizar en su versión estocástica para la determinación de la predictibilidad de la lluvia, presentando un gran potencial de utilidad para estudios de riesgos de inversión en desarrollo agropecuario, así como una metodología estadística de pronóstico de lluvias. Finalmente, se presenta una versión del Modelo Markoviano de natalidad pura para su uso en el pronóstico de heladas.

IV EL MODELO, PROPIEDADES Y ALCANCES.

A) FUNDAMENTOS BASICOS DEL MODELO

a) MODELO DETERMINISTICO DE DENSO-DEPENDENCIA, EFECTOS DE RETRASO Y REGIMENES CAOTICOS.

La naturaleza es compleja, sin embargo existe una fuerte tendencia a construir modelos matemáticos simplificados de la realidad con la esperanza de capturar la esencia de patrones y procesos observados sin llegar a adentrarnos en los detalles. Esta estrategia ha gozado de considerable éxito en física y química y existe una creciente literatura en la exploración de modelos matemáticos simples en ecología debatiendo sobre su utilidad, ya que existen propiedades desconcertantes de muchos modelos determinísticos muy simplificados que permiten comportarse en formas extremadamente complicadas. Sin embargo esto no es una observación reciente ya que Poincaré ya lo había notado y señalado de que una amplia clase de modelos determinísticos podían dar lugar a comportamientos dinámicos aparentemente caóticos. El comportamiento dinámico estable a través de una secuencia de bifurcaciones a ciclos estables de período de 2, 4, 8, etc y finalmente a un régimen de caos aparente.

El caos no es algo cotidiano en los fenómenos de cada día pero es importante comprenderlo, como y cuando surge y cuales son los elementos que intervienen en él, estudiarlo en ecuaciones sencillas para ser examinado en forma detallada, es posible por lo cual no podemos predecir con exactitud las condiciones climáticas que hará la semana que viene, pero tendremos alguna idea de porque no podemos predecirle. En un sistema aislado, el orden no puede aumentar pero los sistemas que se hallan en contacto con el medio ambiente pueden intercambiar materia y energía por lo que nada impide un aumento del orden, por lo que es preciso comprender los mecanismos a través de los cuales surge el orden en estas circunstancias y los rasgos generales de dicho orden a través de un cambio en las propiedades globales del sistema, encontrando reglas generales que describan la aparición del orden en muchos procesos físicos diferentes y aunque los procesos específicos sean muy distintos, podría ocurrir que las ecuaciones matemáticas que los describan sean semejantes.

En el estudio de la dinámica de sistemas, donde los cambios poblacionales ocurren de manera continua, es posible que sean representados por ecuaciones diferenciales que relacionan la tasa de cambio de la población a sus tamaños poblacionales en cualquier tiempo. El modelo más simple de estos será cuando consideremos una tasa de crecimiento relativo, r , constante e independiente de la densidad poblacional. Tal crecimiento sin límites, denso-independiente no se da en la naturaleza por periodos de largo plazo. Por lo que el modelo logístico, considera las características esenciales poblacionales en un ambiente limitado y suele considerarse en la siguiente forma; $\frac{dB}{dt} = rB(1-B/K)$. Donde

la tasa de crecimiento relativo poblacional, toma la forma de; $r(1-B/K)$, que será positivo cuando la población (B) sea menor que la capacidad de sostén (K) y negativo cuando sea mayor. Obteniéndose valores poblacionales de equilibrio globalmente estables en el caso en que; $B^* = K$.

La forma específica de estas ecuaciones son representativas de un amplio grupo de ecuaciones no lineales con mecanismos regulatorios que los biólogos suelen denominar como denso-dependientes. En tal situación, consideraremos que los factores ambientales actúan exclusivamente sobre la capacidad de sostén del ecosistema; y la razón intrínseca de crecimiento (r) está libre de tales limitantes. Así también, la dinámica de este sistema, tendrá un periodo característico de retorno; $T_R = 1/r$, que nos da una estimación del tiempo en que la población retorna a su punto de equilibrio, después de ser perturbada.

Si el tiempo de retraso en el mecanismo de retroalimentación (T) es grande comparada con su tiempo natural de respuesta T_R , habrá una tendencia a inestabilizarse el sistema.

En tales situaciones la ecuación logística con efectos de retraso; $\frac{dB}{dt} = rB(1-B(t-T)/K)$, presentará en su dinámica, puntos estables monotónicamente amortiguados si; $0 < rT < 1/e$, y puntos estables monotónicamente oscilatorios si; $1/e < rT < 1/2 \pi$. Para $rT > 1/2 \pi$ la población exhibe ciclos. Conforme el tiempo de retraso crece, el producto rT se hace mayor que la unidad, se presenta la bifurcación de Hopf y los puntos estables dan lugar a

ciclos estables. El carácter de estas soluciones puntuales de equilibrio va dando lugar a ciclos estables cuando T/T_R exceden a la unidad y es característico a una amplia clase de modelos con mecanismos regulatorios de retraso, cuyos ciclos presentan periodos aproximados de $4T$, (May 1974a).

La analogía encontrada en las ecuaciones diferenciales con retraso y las ecuaciones³ con intervalos discretos de tiempo ordinarias, nos señalan comportamientos monotónicamente amortiguados cuando, simultáneamente ocurra que; $T_R > 1$ y $1 > r > 0$, oscilaciones amortiguadas para; $1 > T_R > 0.5$ y $2 > r > 1$, y oscilaciones divergentes pero acotadas para; $T_R < 0.5$ y $r > 2$.

Pero en este último caso no se tiene idea de todo un amplio espectro de la riqueza de su comportamiento dinámico, sin embargo, es de esperarse que si la no linealidad no es muy severa, los tiempos de retraso de las ecuaciones de tiempo discreto tiendan a ser cortos comparados con el tiempo de respuesta natural del sistema, existiendo un punto de equilibrio estable en K . Pero este punto estable se hace inestable cuando $r > 2$, y empieza a bifurcarse para producir dos nuevos puntos localmente estables de periodo 2, dentro de los cuales las poblaciones oscilan de forma estable. Incrementando r , estos dos puntos se hacen inestables y bifurcan para obtenerse cuatro puntos localmente estables de periodo 4. De esta forma aparece por bifurcaciones sucesivas una jerarquización infinita de ciclos estables de periodo 2^n , que converge a un valor límite r_c , después del cual el sistema entra a un régimen caótico.

Condiciones iniciales arbitrariamente cercanas, nos pueden llevar después de un tiempo a trayectorias poblacionales que diverjan ampliamente. Es por esto que ya una vez en la zona caótica, la dinámica poblacional de modelos determinísticos sean mejor descritos en términos probabilísticos. Existe la tendencia de que poblaciones naturales tiendan a tener equilibrios estables. Sin embargo el mundo natural exhibe muchos ejemplos de 3 a 4 años en los ciclos poblacionales, (Elton 1943), y (Dajoz 1974). Considerándose que en ambientes fuertemente estacionales estos mecanismos operan construyendo efectos de retraso del orden de un año, de tal forma que para especies con razones intrínsecas de crecimiento poblacional grande ($r \cdot T > 1$) tenderán a un

comportamiento de ciclos estables, sin importar sus aptitudes estos ciclos tienen periodos de aproximadamente cuatro años.

Poblaciones con valores altos de r en su comportamiento tienden a seguir las fluctuaciones ambientales, mientras que las de valores bajos de r promedian los efectos de la fluctuación.

b) MODELO PROBABILISTICO POR EFECTOS DE INESTABILIDAD CLIMATICA, ECUACION DE DIFUSION Y POSIBILIDADES DE EXTINCION

Una de las principales causas de fluctuación en el número de animales de un ecosistema es la inestabilidad del ambiente. Una vez que la estocasticidad del ambiente es aceptada, no podemos más hablar de la población $N(t)$ en el tiempo t , sino solamente de su probabilidad de distribución, $f(n, t)$ dando la probabilidad de observar; $n=0, 1, 2, \dots, N$, animales en el tiempo t .

Para una comunidad de m especies tendremos una distribución probabilística multivariable; $f(n_1, n_2, n_3, \dots, n_m, t)$.

Para la población de equilibrio N^* , la función de probabilidad de equilibrio $f^*(n)$ es al ambiente estocástico lo que el punto de equilibrio estable es al determinístico.

Para el caso determinístico, si el punto de equilibrio estable de las poblaciones es alterado, tendremos que para pequeñas alteraciones, la dinámica es descrita por la matriz comunitaria y el tiempo característico para retornar al equilibrio está medido por la parte real de los eigenvalores. En un ambiente estocástico no existe más un punto de equilibrio estable, sino que existe toda una nube de posibles valores del tamaño poblacional descrita por la función de distribución probabilística de equilibrio, existiendo además un espectro continuo de perturbaciones generado por la estocasticidad del medio. Mientras que la dinámica de las interacciones de la población, tienden a restaurarla a su valor medio, es decir a compactar la nube de valores, las fluctuaciones aleatorias del ambiente actúan para dispersarla. Esta dinámica de interacciones, para cuando la nube probabilística es relativamente compacta, es medida también por lo eigenvalores de la matriz comunitaria como en el caso determinístico siendo evaluada usando valores medios de los parámetros ambientales. Se observa que si los efectos estabilizantes de interacción son fuertes comparados con los efectos de difusión del medio ambiente estocástico, la nube

probabilística de valores se compactará y puede inclusive para propósitos prácticos no distinguirse del punto de equilibrio determinístico.

Considerando una población donde su incremento poblacional es función solamente de su tamaño, si el ambiente está fluctuando aleatoriamente, así que uno o más de los parámetros de una ecuación general son variables estocásticas, necesitamos reformular la matemática en términos de la función de distribución probabilística; $f(n,t)$ donde si en lugar de preguntarnos cual es el valor medio de cambio poblacional con el tiempo, quisieramos saber cual es la probabilidad; $P(B,t)$ dB de que el tamaño poblacional este entre los valores; $B + dB$, uno esperaría que esta probabilidad no dependa de la historia pasada de la población, pero de que es determinable si conocemos que $B=B_0$ en algún tiempo anterior $t = t_0$ (proceso de Markov), lo cual en forma condicional nos daría que; $PdB = P(Bt/B_0t_0)dB$, que será la probabilidad de que la población este entre B y dB en el tiempo t , si sabemos que tenía el tamaño B_0 en el tiempo t_0 , donde la probabilidad depende solamente de la diferencia en el tiempo; $s = t - t_0$, y tendremos; $p(Bt/B_0t_0)dB = P(B,s/B_0) dB$, para denotar la probabilidad de que si la población tiene el valor B_0 en cualquier tiempo, tomará el valor $B + dB$ despues de un tiempo s . Si s tiende a infinito la población llegará a un equilibrio, independientemente de su historia y será la población independiente de B_0 y del tiempo, y reduciéndose a tener un tipo de distribución canónica es decir que

si s tiende a infinito, $P(B,s/B_0) dB$ tiende a $(\frac{mB}{2\pi})^{1/2} e^{-1/2mB^2} dB$.

En el caso general cuando la variabilidad es un ruido blanco, sin cambio sistemático evolucionario en el ambiente, la ecuación diferencial parcial para distribución probabilística es llamada la ecuación de difusión.

$$\frac{\partial f(n,t)}{\partial t} = - \frac{\partial^2}{\partial n^2} (M(n)f(n,t)) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial n^2} (V(n)f(n,t)).$$

donde $M(n) = \langle f(n) \rangle$ es el valor medio, y $V(n) = \langle (f(n) - M(n))^2 \rangle$ es la varianza.

Una de las implicaciones más importantes de la fluctuación ambiental es que las poblaciones se pueden extinguir; pero aún en

el caso de que no se presentara tal extinción, la población variará en tamaño respecto a lo obtenido bajo condiciones climáticas constantes. Como resultado el tamaño poblacional puede llegar a tener diferentes tamaños y lo que se desea saber es la distribución probabilística de la presencia de dichos tamaños. Si $P(n,t)$ denota la función de densidad probabilística $f(n,t)$ para el tamaño poblacional aleatorio n en el tiempo t . La distribución probabilística del tamaño poblacional de equilibrio es dada por;

$$p(n) = \frac{c}{V(n)} \exp \left[2 \int \frac{M(n)}{V(n)} dn \right]$$

Donde c es una constante de normalización y donde $M(n)$ representa la parte determinística del proceso o el promedio del cambio en n por unidad de tiempo. $V(n)$ representa la parte estocástica del proceso, es decir que $V(n)$ es la varianza del cambio de n por unidad de tiempo.

Una vez que se tiene la ecuación de difusión correspondiente al modelo de la dinámica poblacional ya sea utilizando el método de Ito o de Stratonovich, podemos analizar la ecuación de difusión, determinar la distribución estacionaria de los tamaños poblacionales (Cuando existan) determinar cuando las poblaciones tienden a la extinción como resultado de la fluctuación ambiental, y si es así, cuando la extinción está ocurriendo rápidamente o lentamente. El método básico para este análisis es de clasificar las fronteras del proceso de difusión en una de las cinco categorías posibles. Para todos los procesos poblacionales la frontera inferior estará en $n=0$ y la frontera superior en $n=k$ o $n=\infty$, (Feller, 1952), (Prohorov y Rozanov, 1969).

Una frontera en $n=a$, será de atracción si existe una probabilidad positiva de que el límite de la trayectoria de la muestra conforme el tiempo crece a valores muy grandes, se encuentra en la frontera.

$$\text{Prob} \left\{ \lim_{t \rightarrow \infty} n(t) = a \right\} > 0$$

Una frontera será de repulsión si;

$$\text{Prob} \left\{ \lim_{t \rightarrow \infty} n(t) = a \right\} = 0.$$

Una frontera sera obtenible o accesible si hay trayectorias en la muestra que tocan la frontera en un tiempo relativamente corto. Una frontera será inaccesible o no obtenible, si las trayectorias de la muestra no tocan la frontera en tiempos finitos.

La clasificación de fronteras es importante para determinar las implicaciones biológicas de una ecuación de difusión. Si $n=0$ es de atracción, la población se aproxima a la extinción y será al menos en el límite conforme $t \rightarrow \infty$, extinguidas, si además $n=0$ es realmente obtenible, las poblaciones se extinguirán en un tiempo finito debido a la fluctuación climática.

En la practica la forma de clasificar las fronteras es determinando la integrabilidad de las funciones en la vecindad de la frontera. Para que una función sea integrable en la vecindad de una frontera, significa que la integral es finita en su vecindad. Existe un total de cuatro funciones cuya integrabilidad en una frontera determina la clasificación de esta frontera.

La primer función es llamada la escala de densidad y es dada por;

$$w(n) = \exp \left[-2 \int_0^n \frac{M(t)}{V(t)} dt \right]$$

La segunda función es llamada la velocidad de densidad;

$$p(n) = \frac{1}{V(n)w(n)} = \hat{p}(n) = \frac{1}{V(n)} \exp \left[2 \int_0^n \frac{M(t)}{V(t)} dt \right]$$

La cual difiere de la distribución estacionaria por la constante de normalización.

Si la velocidad de la densidad, $p(n)$ es integrable en ambas fronteras, entonces la distribución estacionaria existe en el sentido de que puede ser normalizada a una área unitaria, por lo que en el curso de clasificar las fronteras para procesos de difusión, automáticamente determinamos si la distribución estacionaria existe.

Las siguientes dos funciones se deducen de las dos primeras.

TABLA (I)

TIPO DE FLUCTUACION

F O R M U L A C I O N

ITO

STRATONOVICH

r FLUCTUANTE

FUERTE ESTOCASTICIDAD:
ALGUNAS POBLACIONES SE
EXTINGUEN, MIENTRAS
OTRAS CONVERGEN A K

TODAS LAS POBLACIONES
CONVERGEN A K

ESTOCASTICIDAD DEBIL:
TODAS LAS POBLACIONES
CONVERGEN A K

K FLUCTUANTE

LAS POBLACIONES OBTIENEN
UNA DISTRIBUCION DE EQUI
LIBRIO DE TAMAÑO POBLACI
ONAL.

LAS POBLACIONES OBTIENEN
UNA DISTRIBUCION DE EQUI
LIBRIO DE TAMAÑO POBLACI
ONAL.

r y K FLUCTUANTES
CON r/K PERMANECIEN
DO CONSTANTES.

FUERTE ESTOCASTICIDAD:
TODAS LAS POBLACIONES
EVENTUALMENTE SE EXTINGUEN

LAS POBLACIONES OBTIENEN
UNA DISTRIBUCION DE EQUI
LIBRIO EN EL TAMAÑO PO
BLACIONAL.

ESTOCASTICIDAD DEBIL:
LAS POBLACIONES OBTIENEN
UNA DISTRIBUCION DE EQUI
LIBRIO EN EL TAMAÑO PO
BLACIONAL.

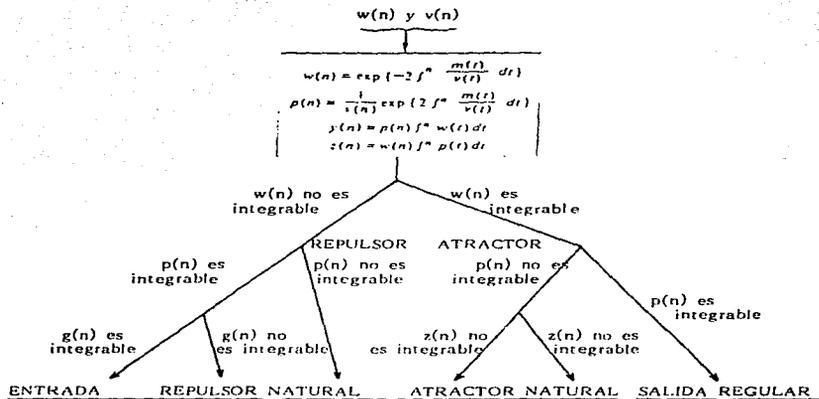


FIG. (1) DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA CLASIFICACION DE FRONTERAS EN UN PROCESO DE DIFUSION UNIDIMENSIONAL.

$$y(n) = p(n) \int_0^n w(t) dt$$

$$z(n) = w(n) \int_0^n p(t) dt$$

La integrabilidad de $w(t)$ es suficiente para determinar si una frontera es repelente o atrayente, figura (1) tabla (1).

C) MODELO LOGISTICO DE PRODUCCION CON EFECTOS DE ALEATORIEDAD EN SUS PARAMETROS.

El manejo de los recursos naturales, parece proveer de una área fértil para la aplicación del análisis económico, sin embargo es sorprendente la poca atención que se ha dado a los aspectos económicos de conservación. El análisis económico de las industrias basadas en los recursos naturales es inexistente, aunque para los bosques y la agricultura se tenga un conocimiento superior al promedio, pocas personas, parecen entender los principios básicos de estos aspectos. Una posible explicación en esta falta de aparente interés, puede estar en la naturaleza interdisciplinaria del problema, por lo que expertos en biología y economía, tienen que admitir su ignorancia en el campo del otro. Por esta razón es necesaria la construcción de modelos bio-económicos ya sean determinísticos, estocásticos o modelos dinámicos, con dos componentes; una económica y la otra biológica. Los modelos económicos basados en la noción de máximo beneficio y los biológicos caracterizados por la dinámica poblacional que se incorpore ya sea este un modelo estacional, logístico, con estructura de edades o una posible combinación de los tres.

La ecuación de producción bajo condiciones climáticas constantes puede escribirse como (May, 1969).

$$\frac{dB}{dt} = rB(1 - \frac{B}{K})$$

Cuya transformación a ecuaciones en diferencias para tiempos discretos, veremos que su solución de forma predictiva, esta dada por;

$$B_{t+1} = (r + 1 - \frac{r}{K} B_t) B_t$$

Con la incorporación de las influencias climáticas y considerando anomalías (k_t, b_t) fluctuando alrededor de la capacidad de sostén y la población promedio (K, \bar{B}) . Podemos escribir.

$$b_{t+1} = 1 - r \left(\frac{K}{K + k_t} \right) + r \left(\frac{\bar{K}}{K + k_t} \right) + r \left(\frac{k_t - b_t}{K + k_t} \right) b_t$$

En un ambiente con fluctuaciones pequeñas y gran capacidad de sostén poblacional la ecuación anterior se reduce a un modelo lineal: (Roughgarden, 1974) y (Feller, 1952).

$$b_{t+1} = (1 - r)b_t + rk_t$$

a) ALEATORIEDAD EN r .— Cuando ocurren variaciones aleatorias solamente en r , por razones ambientales podemos decir que;

$$B_t = B_0 \exp \left(\int r(t) dt \right)$$

o también;

$$\frac{dB_t}{B_t \left(1 - \frac{B_t}{K} \right)} = r(t) dt$$

Donde:

$$B_t = \frac{K B_0 \exp \left(\int_0^t r(s) ds \right)}{K - B_0 + B_0 \exp \left(\int_0^t r(s) ds \right)}$$

Aplicando el teorema de límite central a $\int r(t) dt$ se obtiene una distribución normal con media $\bar{r}t$ y varianza $t\sigma_r^2$.

Así $\frac{B_t}{B}$ tiene una distribución logarítmico-normal.^o

$$f \left(\frac{B_t}{B_0} \right) = \frac{B_0}{\sigma_r B_t \sqrt{2\pi}} \exp \left(- \frac{1}{2t\sigma_r^2} \left(\ln \frac{B_t}{B_0} - \bar{r}t \right)^2 \right)$$

Esta función tiene un pico en $B_t = B_0 \exp(\bar{r} - \sigma_r^2)t$, así que la moda aumenta o disminuye conforme \bar{r} es mayor o menor que σ_r^2 .

b) ALEATORIEDAD EN K.

Para resolver la ecuación para K aleatoria, podemos hacer la sustituciones; $Q(t) = \frac{1}{K(t)}$ y $y = \frac{1}{B}$. Entonces

$$- \frac{dy}{y} = \frac{r}{y} \left(1 - \frac{Q(t)}{y}\right) dt \quad \text{o} \quad \frac{dy}{dt} = -ry + rQ(t)$$

Esto puede resolverse multiplicando ambos lados por e^{rt} y sumando $r = y e^{rt}$.

$$y = y_0 e^{-rt} + \int_0^t e^{-r(t-s)} Q(s) ds$$

$$B_t = \frac{\frac{B_0}{e^{-rt}} + \int_0^t e^{-r(t-s)} ds}{K(s)}$$

Así B_t depende de un peso medio armónico de las K's, con r señalando que tan rápido, los valores pasados de K son amortiguados.

c) ALEATORIEDAD EN r Y K.

Un ambiente que presente fluctuaciones influye a r o a K o a ambos. Cuando ambos parámetros varían, tenemos que:

$$r_t = \bar{r} + \sigma_r Z_t$$

$$K_t = \bar{K} + \sigma \left(\frac{\bar{K}}{r} \right) Z_t$$

Para un ambiente de comportamiento predecible, es decir, donde existe autocorrelación entre valores sucesivos de K_t , considerando que la capacidad de sostén puede ser representada como un proceso autoregresivo de primer orden.

$$K_t = \lambda K_{t-1} + Z_t$$

La capacidad de sostén en t , es λ veces el valor en $t-1$ mas un componente aleatorio, Z_t independiente con media cero y varianza σ_z^2 . Bajo esta consideración, λ ademas de controlar la predictabilidad de K_t , es una medida de la rapidez, de recuperación del recurso. Así si λ es igual a 0, el ambiente es completamente impredecible. Si λ es positiva el efecto de K_{t-1} , persiste en K_t y la autocorrelación; $\rho_k(h) = \lambda^{|h|}$, donde; $-1 < \lambda < 1$ y $h = \dots -1, 0, 1 \dots$, toma la forma de un decaimiento exponencial.

Si λ es negativa, indica un ambiente oscilatorio y $\rho_k(h)$ fluctua en signos positivos y negativos.

Un alto valor de λ para cuando K_t es menor a \bar{K} , indica una recuperación lenta del recurso, y para cuando K_t excede a \bar{K} , indica una alta persistencia de los recursos adicionales.

La varianza de la capacidad de sostén se relaciona a la varianza de la componente aleatoria como, Roughgarden (1975a).

$$\frac{\sigma_k^2}{\sigma_z^2} = \frac{1}{(1 - \lambda^2)}$$

Donde la varianza y autocorrelación del tamaño poblacional, toman la forma:

$$\frac{\sigma_B^2}{\sigma_k^2} = \left(\frac{r}{2-r} \right) \left(\frac{1 + (1-r)\lambda}{1 - (1-r)\lambda} \right)$$

y

$$\rho_B(0) = 1; \rho_B(h) = (1-r) \rho_B(h-1) + \frac{r(2-r)\lambda^h}{1 + (1-r)\lambda}$$

Por lo que si r es igual a 1;

$$B_{t+1} = K_t; \sigma_B^2 = \sigma_k^2; \sigma_B(h) = \sigma_k(h)$$

Mientras que si $r=0$; $B_{t+1} = B_t$; $\sigma_B^2 = 0$; $\rho_B(h) = \rho_k(h-1)$

Para un ambiente completamente impredecible $\lambda=0$ y ;

$$\frac{\sigma_B^2}{\sigma_K^2} = \frac{r}{2-r} \text{ y } \rho_B(h) = (1-r)^h$$

Por lo que la variabilidad y predictabilidad de la población es determinada simultáneamente por su propia dinámica (r) y la del ambiente (λ).

1) CONDICIONES DE EQUILIBRIO Y OPTIMIZACION

Podemos decir que el cambio poblacional anual está dado por;

$$B_{t+1} = B_t + A - \Delta$$

Donde A significa adiciones y Δ significa pérdidas.

También podemos decir que:

$$B_{t+1} = B_t + (A - \Delta)_d + (A - \Delta)_s$$

Donde d significan los efectos determinísticos y s los efectos estocásticos.

Considerando que la población de equilibrio (E) existe y de que esta es constante, entonces $B_t > E$, significa sobresaturación, en la población por lo que es de esperarse que en el siguiente tiempo; $B_{t+1} < B_t$. Similarmente si $B_t < E$, es de esperarse que la biomasa tienda a incrementarse por lo que; $B_{t+1} > B_t$.

El modelo determinístico mas simple, es considerar que la razón de cambio poblacional es proporcional a la diferencia entre la población de equilibrio y la población existente.

$$B_{t+1} - B_t = b(E - B_t)$$

El parámetro b representa la razón en que la población tiende al nivel de equilibrio, sus valores están entre cero y uno por lo que si b es igual a 1 la población regresa a su punto de equilibrio en el siguiente paso del tiempo. Si $b = 0$, no existe cambio poblacional determinístico.

El cambio estocástico medio en la población debe ser cero.

d) MODELO LOGISTICO DE PRODUCCION CON VARIABLES AMBIENTALES PROMEDIO.

Pella y Tomlison (1969) generalizaron el modelo logístico de producción para explicar cambios en las capturas relacionadas al esfuerzo aplicado para poblaciones dadas. Este modelo estima la producción en función del esfuerzo aplicado o del tamaño poblacional y está dado por:

$$\frac{dB}{dt} = HB^m - KB - qfB$$

Donde $HB^m - KB$ es la razón natural de producción del ecosistema bajo consideraciones determinísticas de denso-dependencia, siendo H, K y m parámetros del modelo. Los efectos del hombre son introducidos a través de las capturas en su proceso de explotación y son dadas por qfB ; donde q es el coeficiente de capturabilidad y f es el esfuerzo aplicado,

La solución predictiva a los cambios en el tamaño poblacional es dada por

$$B(t) = \left[\frac{H}{K+qf} \left(\frac{H}{K+qf} - B(0)^{1-m} \right) e^{-(k+qf)(1-m)t} \right]^{\frac{1}{1-m}}$$

Donde si el esfuerzo; $[HB(0)-K]/q < f < (-\frac{K}{q})$ y $m > 1$, la población declinará y alcanzará un nuevo equilibrio en:

$$B = \left(\frac{qf+K}{H} \right)^{\frac{1}{m-1}}$$

Pero si $f > (-\frac{K}{q})$ la población tenderá a extinguirse.

La máxima capacidad de sostén bajo efectos ambientales promedio está dada por:

$$P_{max} = \left(\frac{K}{H} \right)^{\frac{1}{m-1}}$$

La solución para calcular las capturas esperadas en función del esfuerzo aplicado puede escribirse como;

$$\hat{C} = \frac{qft(K+qf)}{H} + \frac{qf}{H} \ln \left[\frac{B(t)}{B(0)} \right]$$

El primer término de la ecuación representa la captura de equilibrio del esfuerzo utilizado en el tiempo $t=1$. Cuando $t=1$ y $B(t) > B(0)$ la captura esperada es menor que la captura de equilibrio y cuando $B(t) < B(0)$ la captura esperada es mayor que la de equilibrio.

La captura máxima sostenida está dada por;

$$C_{max} = H \left(\frac{K}{mH} \right)^{\frac{m}{n-1}} - K \left(\frac{K}{mH} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

Donde los tamaños poblacionales óptimos de máximo rendimiento son dados por;

$$B_{opt} = \left(\frac{K}{mH} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

Y su correspondiente optimización del esfuerzo es dado por:

$$F_{opt} = \frac{K(1-m)}{mq}$$

B) APORTES ECOLOGICO-AMBIENTALES EN EL MODELO GENERAL

a) MODELO LOGISTICO CON ESTRUCTURA DE EDADES Y CONDICIONES DE OPTIMIZACION EN LAS RAZONES DE EXPLOTACION.

Considerando el modelo logístico generalizado, dado por:

$$B_t = B_0 (1 + be^{-rt})^{-\frac{1}{n}}$$

Donde n da el grado de asimetría de la curva de producción, y el modelo matricial de Leslie; está dado por:

$$\vec{B}_{t+1} = M(B) \vec{B}_t$$

Donde los parámetros de reproducción y mortalidad dependen del tamaño poblacional total. \vec{B}_t es un vector denotando el número o biomasa poblacional en cada clase de edad, y:

$$M(B) = \begin{pmatrix} S_0(B)F_1(B), S_0(B)F_2(P), \dots, S_0(B)F_k(B) \\ S_1(B), & 0 & & 0 \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ 0 & 0 & \dots & S_{k-1}(B), 0 \end{pmatrix}$$

Donde $S_i(B)$ es la probabilidad de sobrevivencia de la i -ésima clase anual y $F_i(B)$ es el número de hembras nacidas de cada hembra a la siguiente edad i .

Si \vec{B}_t es de la misma forma como los eigenvectores asociados con el eigenvalor dominante de $M(B)$ para un valor específico de B_t , entonces:

$$\vec{B}_{t+1} = L(B_t) \vec{B}_t$$

Donde $L(B)$ es el eigenvalor dominante de $M(B)$ para un valor específico de B . Donde podemos observar que cuando $L(B) = 1$ la población estará en equilibrio.

Sumando los vectores en ambos miembros y expresando esto en

términos del tamaño poblacional total, tendremos que:

$$B_{t+1} = L(B)B_t .$$

Es de interés examinar la forma de la función $L(B)$. Aunque no forma algebraica parece existir para esta en general, siempre puede ser evaluada numéricamente en un instante específico y es posible también examinar algunas formas algebraicas de $L(B)$ en ciertas situaciones. Así, en modelos poblacionales como el logístico generalizado, se considera que el crecimiento poblacional puede ser descrito en forma simple, como:

$$\frac{\Delta B}{\Delta t} = f(B); ,$$

$$B_{t+1} = g(B,t)B_t$$

Ecuaciones que pueden resolverse simultaneamente para $L(B)$, dando la forma para las funciones específicas de $g(B,t)$.

Para el modelo logístico generalizado, B_t es descrita por nuestra ecuación inicial y

$$L(B) = \left[e^{-r} + (1 - e^{-r}) \left(\frac{B}{K} \right)^n \right]$$

Esta forma da una conexión entre el modelo logístico generalizado y el modelo matricial de Leslie. Si uno tiene para un modelo $M(B)$ una función $L(B)$ de esta forma, los parámetros, n , r y k pueden ser usados como en el modelo logístico más simple para estudios comparativos de poblaciones, Pella y Tomlinson (1969). $L(B)$ puede de tal forma ser obtenida del modelo:

$$M(B) = \left[\frac{L(B)}{L_0} \right] M$$

Donde L_0 es el eigenvalor de M solamente. Alternativamente, uno puede obtener estimaciones de los parámetros para ajustar numéricamente la función de eigenvalores obtenidos de cualquier

modelo $M(B)$.

Si nuestra relación vale en el tiempo t como usualmente sucede, no valdrá en el tiempo $t + 1$, esto es porque la nueva estructura de edades B_{t+1} no necesariamente será de la misma forma como los eigenvectores de $M(B_{t+1})$. Sin embargo, $L(B)$ describirá como el tamaño poblacional cambia si esta fuera librada de ser artificialmente sostenida en un tamaño particular. Como pescando o cazando es una forma de sostener una población en un tamaño dado, esta función $L(B)$ es útil en evaluar la respuesta de una población a diferentes razones de explotación (H), y

$$B_{t+1} = (1-H) L(B) B_t$$

Será la población para obtener el tamaño de equilibrio bajo explotación cuando $(1-H) L(B) = 1.0$.

El valor de (H) tal que la razón de cambio en el tamaño poblacional sea máximo estará dado por:

$$H = 1 - \left(\frac{ne^{-r} + 1}{(n+1)} \right)$$

**EL MODELO LOGISTICO DE PRODUCCION CON FACTOR CLIMATICO
LIMITANTE**

Se formula una ecuación diferencial para la población total dependiente de valores medios y las varianzas de las variables críticas como son el tiempo (t), la biomasa (m), y el factor microclimático (a). La derivación está basada en la aproximación de funciones de densidad $\eta(t,a,m)$ de Sinko y Stroifer (1967) que satisface una ecuación diferencial de la forma.

$$\frac{\partial \eta(t,a,m)}{\partial t} + \frac{\partial \eta(t,a,m)}{\partial a} \cdot \frac{\partial G(t,a,m)\eta(t,a,m)}{\partial a} = -D(t,a,m)\eta(t,a,m)$$

Donde $D(t,a,m)$ y $G(t,a,m)$ son las razones de mortalidad para individuos de edad t, biomasa m y el microclima a limitante del desarrollo.

La función de densidad contiene la información completa y describe a la población requiriendo solamente del conocimiento de los siguientes factores: La población total (N), La biomasa promedio (m), el efecto promedio del microclima sobre un elemento de la población (a), la varianza de la biomasa (μ), el efecto de la varianza microclimática sobre un elemento poblacional (α) y la covarianza biomasa-microclima (ν).

Conforme la población interactúa con el clima, las anteriores variables cambiarán con el tiempo y se pueden establecer ecuaciones diferenciales ordinarias donde el punto inicial es la ecuación (1), considerando que las funciones de natalidad $B(t,a,m)$, mortalidad y crecimiento son conocidas, y las varianzas no son importantes, tendremos

$$\frac{dN}{dt} = (B-D)N$$

$$\frac{1}{N} \frac{d a}{dt} = \frac{1}{N} \frac{B a}{a}$$

$$\frac{d m}{dt} = -B m + G$$

A pesar de que estas ecuaciones relativamente simples no son tratables analíticamente, si es posible resolverlas numéricamente. Lo que si es factible de determinar en forma analítica son los valores de equilibrio de N , a y m , haciendo estas derivadas igual a cero, y combinándolas entre si obteniendo:

$$-D_1 B_0 \bar{m}^2 + (B_1 + D_1) \bar{m} = D_0 B_1 \bar{a}^2$$

$$(B_1 + B_0 G_1) \bar{m} - G_1 = B_1 G_0 \bar{a}$$

Estas ecuaciones se pueden resolver simultaneamente para los valores de equilibrio de a y m , determinando entonces los valores de equilibrio de N .

La última ecuación es una línea recta que intercepta al eje de las m promedio en $m_1 = G / (B + BG)$, mientras que la ecuación de la elipse anterior intercepta al eje de las m en $m_2 = (B+D)/BD$, demostrandose que $m_1 < m_2$, por lo que la línea recta y la elipse se interceptan para valores positivos de los elementos ($B_0, B_1, D_0, D_1, G_0, G_1$) que la componen y dicho punto servirá para determinar los valores de equilibrio de \bar{m} y \bar{a} . En situaciones más complejas, cuando las varianzas no son despreciables, el equilibrio puede no ser estable, pudiendo presentarse soluciones oscilatorias periódicas y no necesariamente de valores puntuales, sino de rangos de las variables de interes.

EL NUMERO COMPLETO DE ECUACIONES DIFERENCIALES SERA:

$$\frac{dN}{dt} = (B-D)N$$

$$\frac{1}{N} \frac{d\bar{a}}{dt} = \frac{1 - B\bar{a} - \alpha Da - \gamma Dm}{N}$$

$$\frac{d\bar{m}}{dt} = -B\bar{m} - \mu Dm - \gamma Da + G + \frac{\alpha}{2} Gaa + \gamma Gam + \frac{\mu}{2} Gmm + MIB$$

Donde: $Da = \frac{\delta D}{\delta a}$; $Ga = \frac{\delta G}{\delta a}$; $Dam = \frac{\partial \delta D}{\partial a \partial m}$; $Gam = \frac{\partial \delta G}{\partial a \partial m}$

$$D = D^0 + \frac{\alpha}{2} \frac{\partial^2 D}{\partial a^2} + \gamma \frac{\gamma D}{\delta a \delta m} + \frac{\mu}{2} \frac{\partial^2 D}{\partial m^2}$$

$$\frac{d\alpha}{dt} = (B-D)\alpha + B\bar{a}^{-2} - \alpha D$$

$$\frac{d\mu}{dt} = -(B-D)\mu - \mu D + 2\gamma Gam + 2\mu Gmm + (m_2 - 2m_1)\bar{m} + \bar{m} \gamma B$$

$$\frac{d\gamma}{dt} = -(B-D)\gamma - \gamma D + \alpha Ga + \gamma Gm + \frac{\alpha}{2} \bar{m} B - \bar{a} m_1 B$$

Donde: $B(t) = \frac{1}{N(t)} \int_0^{\infty} \eta dm$

$$m_1(t) = \frac{1}{B(t)N(t)} \int_0^{\infty} m \eta dm$$

$$m_2(t) = \frac{1}{B(t)N(t)} \int_0^{\infty} m^2 \eta dm$$

SI LAS VARIANZAS NO SON IMPORTANTES Y

$$D = D_0 \frac{\bar{a}}{m} + D_1 N$$

$$G = G_0 \frac{a}{m} - C_x N$$

$$B = B_0 \frac{m}{a} - B_1 N$$

$$\frac{dN}{dt} = B_0 \frac{\dot{m}}{a} - D_0 \frac{a}{m} N - (B_1 + D_1) N^2$$

$$\frac{1}{N} \frac{da}{dt} = \frac{1 - B_0 \dot{m}}{N a} + B_1 a^{-2}$$

$$\frac{dm}{dt} = G_0 - C_1 N - B_0 \frac{m^2}{a} + B_1 N m^{-2}$$

Haciendo las derivadas igual a cero, se determinan los valores de equilibrio de N , a y m .

Combinando las dos primeras ecuaciones, tenemos:

$$-D_1 B_0 m^{-2} + (B_1 + D_1) m^{-2} = D_0 B_1 a^{-2}$$

y de las dos últimas

$$(B_1 + B_0 C_1) m^{-2} - C_1 = B_1 C_0 a^{-2}$$

C) CALCULO DE LA CAPACIDAD DE SOSTEN EN ECOSISTEMAS USANDO FLUJOS Y TRANSFERENCIAS ENERGETICAS.

Un filtro limita o modifica la información pasando a través de él, operando en un conjunto de información para mapearlo a otro conjunto diferente.

Observaremos cómo los recursos naturales primarios y niveles simples en las tramas alimenticias se comportan como filtros de energía o como operaciones que limitan y modifican el almacenamiento y flujo de energía potencial. Así una población de herbívoros pueden describirse como una operación que transforma información acerca del suplemento de alimentos de las plantas a información de suplemento de alimento para su depredador carnívoro.

Usando la energía como denominador común de los procesos en estos niveles de organización, se desarrollan modelos matemáticos para la dinámica poblacional y comunidades basadas en la teoría moderna de sistemas. Las cuestiones cuantitativas de las comunidades y ecosistemas frecuentemente tratan con propiedades interesantes pero estáticas, tales como dispersión espacial, diversidad y grosor de nichos.

En un mundo compuesto de eventos discretos es poco adecuado para los procesos físicos y biológicos continuos. Un proceso continuo tiene muchas causas simultáneas, sin embargo, las causas y efectos no son claramente separables en sistemas con retroalimentación, una característica determinante de los procesos ecológicos. Varios factores pueden actuar simultáneamente para producir un estado de nivel estacionario y podemos preguntarnos de la sensibilidad, de la abundancia de los herbívoros a cambios en los varios procesos, tales como el aumento o disminución en la intensidad de depredación o cambios en las tasas de suplemento de alimentos y aunque no estamos acostumbrados a pensar en términos de procesos, por lo que todavía no miramos a los sistemas ecológicos como operaciones de transformación de entradas o salidas, mapeando cambios ambientales a respuestas poblacionales y comunitarias. Usualmente, se describe el comportamiento de algún sistema ecológico en respuesta a un grupo específico de condiciones climáticas. La ecuación logística describe el crecimiento de una población idealizada bajo condiciones de entrada de un ambiente inicialmente

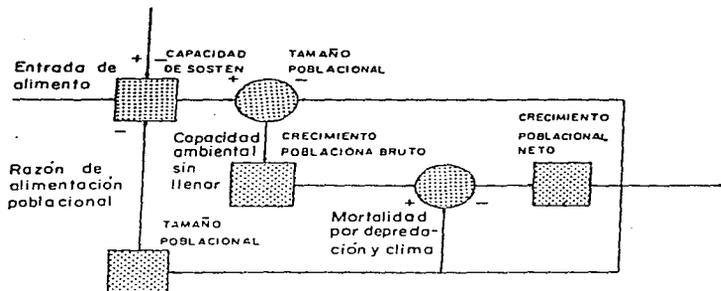


DIAGRAMA DE FLUJO PARA UN MODELO GENERALIZADO POBLACIONAL

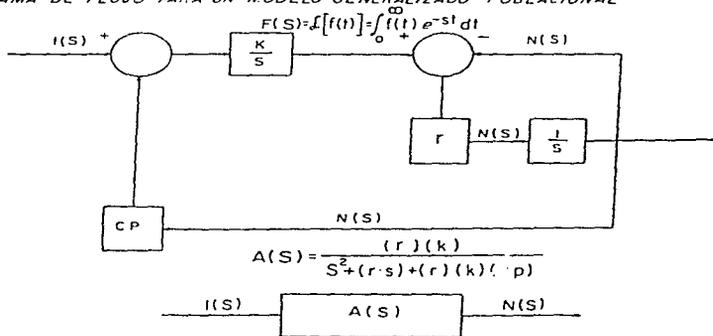


Fig. (2)

VERSION LINEAL SIMPLE DEL MODELO POBLACIONAL GENERALIZADO

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

vacío y de constante tamaño finito. Una vez que las instrucciones generales de operación de un sistema son conocidos, el comportamiento del sistema en respuesta a cualquier ambiente constante o cambiante puede usualmente ser pronosticado. Desafortunadamente, los sistemas ecológicos son altamente no lineales y pasarán muchos años antes de que una teoría no lineal analítica, útil, con suficiente generalidad, exista. Sin embargo existe una teoría lineal poderosa y general para los sistemas dinámicos. Muchos sistemas biológicos pueden no ser tan altamente no lineales como para ser la aproximación lineal de particular valor si nuestro interés es el de evaluar la dinámica del sistema próxima a su punto de equilibrio. El modelo a utilizar es simple y lineal, pero sirve para ilustrar algunas ideas básicas acerca del crecimiento poblacional y de su regulación. Cada ambiente tiene una capacidad de sostén continuamente variable, definida no solamente por los atributos del ambiente, sino también por características fisiológicas y de comportamiento. Definiéndose la capacidad de sostén como una medida instantánea de la producción calórica de las especies que pueden ordinariamente ser mantenidas por el ambiente, es decir que mida el tamaño de la población en que la demanda nutricional es lo suficientemente abundante para que las poblaciones tengan la capacidad de reemplazarse así mismas. La capacidad de carga puede considerarse como el valor de entrada que varía a través del tiempo y seguida pasivamente por el tamaño real de la población. La salida del proceso del filtrado será la diferencia de ambos parámetros, la cual mide el grado en que el ambiente se encuentra sin utilizar por la población, la cual será negativa si las necesidades nutricionales exceden al suplemento observado, figura (2). Operacionalmente podemos medir la "capacidad de sostén" una vez que conozcamos la fracción de alimento disponible, así como el término de eficiencia obtenida como el producto de la eficiencia de consumo y su eficiencia ecológica de crecimiento. Esta eficiencia es definida como la fracción de una caloría de salida, obtenida de cada caloría disponible de entrada, es decir, una eficiencia de producción. El sistema es una población ajustada por su suplemento de alimento. Estas fuentes pueden ser la producción primaria neta de una planta o una especie de animal. Consideramos la población

Como si estuviera recibiendo esta entrada en su complemento de alimento, como una variable independiente. Así, la operación de filtrado es el mapeado del suplemento de alimentación de la población en calorías de producción. Al analizar la dinámica de comportamiento de estos modelos podemos usar transformadas de Laplace o ecuaciones diferenciales. Una vez que se especifica el sistema algebraicamente, podemos encontrar la expresión explícita para la operación de filtrado realizado por la población, llamado función de transferencia. Se busca la función de transferencia $A(S)$, convirtiendo a $I(S)$, la función que describe cómo el alimento es disponible a la población $N(S)$, la función que describe los cambios de producción calórica de la población. Con las expresiones algebraicas podemos calcular $N(S)$ simplemente multiplicando la función de disponibilidad de alimento que estamos considerando por la función de transferencia, $A(S)$. Una vez que tengamos a N como función de S , $N(S)$, podemos regresar al dominio del tiempo para ver cómo $N(t)$ varía con el tiempo en respuesta a $I(t)$. En una versión simple lineal, transformada al dominio S , los contenidos de cada operador son una constante, aunque esto no es necesariamente el caso en modelos más generales: C_p es la constante de depredación que describe las calorías de alimento consumido por caloría de depredador existente; K es la capacidad de carga o eficiencia constante que describe la fracción de alimento disponible para soportar las calorías de depredación, por la eficiencia del depredador; r es la tasa constante de crecimiento poblacional, describiendo la razón en que la población tiende a ocupar los potenciales sin llenar para el incremento poblacional en el ambiente; r es equivalente a la tasa intrínseca de crecimiento natural de las especies.

Para encontrar la función de transferencia transformando $I(S)$ a $N(S)$ resolvemos para $N(S)$ en términos de $I(S)$. Tenemos

$$N(S) = \frac{1}{S} \frac{dN(S)}{dS} = \frac{r}{S} (K(S) - N(S)) \quad (1)$$

Donde: $K(S) = \frac{K}{S} (I(S) - C_p N(S))$, Así

$$N(S) = \frac{r}{S} \left[\frac{K}{S} (I(S) - C_p N(S)) - N(S) \right] \quad (2)$$

K(S) es una variable intermedia que es eliminada en el álgebra, lo que significa que no tenemos que medir la capacidad de sostén para utilizar el modelo. Poniendo los términos N(S) en el lado izquierdo de la ecuación y simplificando tenemos

$$N(S) = \left[\frac{rK}{S^2 + r.S + r.K.Cp} \right] I(S) \quad (3)$$

La función de transferencia será entonces

$$A(S) = \frac{rK}{S^2 + r.S + r.K.Cp} \quad (4)$$

De esta función de transferencia podemos extraer información acerca de la dinámica del comportamiento de nuestra población como filtro energético. Si tomamos nuestro denominador de (4) y lo hacemos igual a cero encontramos sus raíces obteniendo la dinámica de comportamiento del sistema en el dominio del tiempo, es decir, como se comporta a través del tiempo.

$$S^2 + r.S + r.K.Cp = 0 \quad (5)$$

y

$$S = \frac{-r \pm \sqrt{r^2 - 4rK Cp}}{2} \quad (6)$$

Las raíces serán reales si: $r^2 > 4K Cp$ y serán complejas si: $r^2 < 4K Cp$.

Si las raíces son reales la población no oscilará, por lo que si se experimenta un repentino aumento no periódico en la disponibilidad de alimento, la producción de la población no oscilará en la aproximación a un nuevo valor estacionario. Las oscilaciones sólo aparecerán si los cambios en el suplemento de alimento es oscilatorio. Sin embargo si las raíces son complejas, las poblaciones oscilarán en respuesta a cualquier cambio de entrada sin importar si los cambios son periódicos. La información de la función de transferencia es insuficiente para determinar

completamente el comportamiento de la productividad poblacional, porque aún no tenemos a $I(t)$, el cómo el alimento es disponible a la población como función del tiempo. Una vez especificada, determinamos su transformada de Laplace, $I(S)$, y la multiplicamos por $A(S)$, para obtener $B(S)$. Para encontrar cómo la producción varía en respuesta a este suplemento cambiante de alimento, restaríamos $N(S)$ al dominio del tiempo usando el método de fracciones parciales y obtenemos la $N(t)$ particular resultante de la $I(t)$ escogida.

d) UN MODELO LOGISTICO ESTOCASTICO LINEAL PARA LA DETERMINACION DE LA PREDICTOIBILIDAD DE LA LLUVIA .

La forma de una serie de tiempo está muy relacionada a su predictibilidad. Si en una serie de tiempo existe una forma entendible, entonces esta misma forma puede ser usada para predecir futuros valores basados en los pasados. Inversamente si no hay predictibilidad, entonces no debe haber consistencia en la forma de los datos. La cuestión es que en una secuencia impredecible no hay ciclo o periodo particular que esté presente más que cualquier otro ciclo o periodo. Esto es el punto básico, ya que una secuencia no predecible tiene una distribución uniforme de todos los componentes cíclicos, así que no hay forma cíclica particular que sobresalga sobre las demás. En contraste, una secuencia predecible, necesariamente tiene componentes cíclicas presentes en mayor cantidad que otras componentes. Es esta distribución no-uniforme de componentes cíclicas lo que hace la predicción posible.

La predictibilidad de una serie de datos en el tiempo, se describe en términos de la función de autocorrelación, así para determinar si existe predictibilidad inherente en una serie de tiempo, debemos determinar si existe correlación entre datos consecutivos. Si no hay correlación entre datos consecutivos, entonces la secuencia es completamente impredecible. Pero si hay una correlación, ésta puede ser usada para hacer una predicción acerca del futuro basado en observaciones del pasado. La función de autocorrelación, denotado por $\rho(h)$ es el coeficiente de correlación entre observaciones separadas por h intervalos de tiempo.

Una secuencia no predecible (ruido blanco) es aquella que tiene autocorrelación cero y una distribución uniforme de todas las componentes cíclicas.

EL MODELO.

La aplicación de un modelo lineal a una secuencia k_t de anomalías atmosféricas, donde existe una autocorrelación entre sus valores consecutivos, y considerando una variación estocástica en las k_t que pueden ser representadas como un proceso autorregresivo

de primer orden, esta dada por:

$$k_t = \lambda k_{t-1} + z_t$$

$$\text{Donde } -1 < \lambda < 1$$

Cada z_t es independiente, una variable aleatoria idénticamente distribuida con media cero y varianza σ^2 , cuya distribución es arbitraria y no necesariamente gaussiana. La ecuación anterior nos dice que el evento atmosférico k_t en el tiempo t es λ veces su valor en $t-1$ más una componente aleatoria y donde λ controla la predictibilidad del evento. Si λ es cero, cada k_t es simplemente un evento independiente de la variable aleatoria z_t , y en este caso k_t es completamente impredecible. Pero si λ es positivo, entonces algunos de los valores de k_{t-1} persiste en k_t , es decir el sistema guarda memoria y entonces la correlación consecutiva ocurre.

Si λ es negativa, existe también predictibilidad pero con correlación consecutiva negativa. Un valor negativo de λ indica un ambiente oscilatorio. También λ , puede ser visto como una medida de velocidad de recuperación de una perturbación. Si el fenómeno atmosférico k_t toma valores menores a \bar{k} , entonces un alto valor de λ indica una recuperación lenta. Igualmente si k_t toma valores mayores a \bar{k} , entonces un alto valor de λ indica una persistencia prolongada. Así además de controlar la predictibilidad del fenómeno atmosférico k_t , λ también refleja la rapidez de recobro a las condiciones normales.

1) MODELO DE PRONOSTICO PUNTUAL POR ESTACION.

La función de autocorrelación para un proceso autorregresivo de primer orden es dada como: (Roughgarden, 1974), (Feller, 1952).

$$\rho_k(h) = \lambda^{|h|} \quad -1 < \lambda < 1; \quad n = \dots -1, 0, 1, \dots$$

Esta es una secuencia geométrica en λ . Si $\lambda=0$, el fenómeno atmosférico es completamente impredecible y $\rho_k(h)$ es igual a cero, menos para cuando h es cero, Si λ es un entero positivo, $\rho_k(h)$ oscila en valores, siendo negativo para valores impares y positivo

para valores pares de h . La varianza del evento (σ_k^2) está relacionada a λ y a la varianza del componente aleatorio por:

$$\sigma_k^2 = \sigma_z^2 / (1 - \lambda^2)$$

Así considerando un proceso autorregresivo de primer orden para k_t , se obtiene una descripción particularmente simple del ambiente donde σ_k^2 es una medida de la variabilidad y λ una medida de la predictibilidad.

Si el proceso k_t es autorregresivo y de primer orden, entonces la varianza del factor climático n , directamente relacionado como producto del fenómeno atmosférico k_t , está dado por:

$$\sigma_n^2 / \sigma_k^2 = (r / (2-r)) / ((1 + (1-r)\lambda) / (1 - (1-r)))$$

La función de autocorrelación de la intensidad del evento n está dado por las siguientes fórmulas:

$$\rho_n^{(0)} = 1$$

$$\rho_n^{(h)} = (1-r)\rho_n^{(h-1)} + r(2-r)\lambda / (1 + (1-r)\lambda)$$

Donde r da la rapidez con que se alcanza la saturación o máximo valor acumulativo anual del evento n . Deduciéndose que:

1. Si r es igual a uno, entonces cambios en n para $t+1$ siguen exactamente o son resultados de los cambios de k en t .

Como resultado, la variabilidad y predictibilidad de n es idéntica con la de k_t , y entonces

$$\sigma_n^2 = \sigma_k^2 ; \quad \rho_n^{(h)} = \rho_k^{(h)}$$

2. Para un ambiente impredecible ($\lambda=0$), tenemos

$$\sigma_n^2 / \sigma_k^2 = (r / (2-r)) ; \quad \rho_n^{(h)} = (1-r)^{|r|}$$

Lo importante a notar aquí es que aparte de la constante, σ_k^2 la variabilidad y predictibilidad de n está determinada por r y conforme r tiende a cero, n se hace menos sensible a los valores

de k_t . Esta insensibilidad disminuye la varianza, σ_n^2 , e incrementa la correlación seriada, $\rho(h)$ para toda h . Así en ambientes impredecibles, cualquiera que sea la predictibilidad en n , es una expresión de su propia dinámica, particularmente de sus respuestas a cambios en k_t .

3. La dependencia de σ_n^2 en r es siempre una función creciente de r , porque la respuesta de n a fluctuaciones de k_t está controlada por r . Aumentando r incrementa la respuesta de n y entonces también de σ_n^2 . La dependencia sobre λ , es de que para valores grandes de λ , σ_n^2 tiende a aproximarse y hacerse igual a σ_k^2 , sobre rangos amplios de r . Altos valores de λ indican fuerte correlación positiva entre valores consecutivos de las k 's. Así, con grandes valores de λ , los cambios en k_t entre tiempos consecutivos son rara vez grandes, en su lugar las variaciones totales en k_t , como una medida de σ_k^2 es realizado por una ondulación bastante lenta en los valores de k_t . Este hecho guarda a σ_n^2 proximo a σ_k^2 . El curso lento de la variación global con una λ grande da tiempo aún para n poco sensibles ($r < 1$) capturar el estado corriente de k_t , y así también no induce brinco drásticos en condiciones de gran sensibilidad ($r > 1$).

4. Considerando primero la situación donde λ es cero (ambiente impredecible), la autocorrelación es controlada solamente por el grado de respuesta de r .

Si r es uno, $\rho_n(h)$ es igual a uno para $h=0$ e igual a cero para $h > 0$; $\rho_n(h)$ es idéntica a $\rho_k(h)$. Conforme r excede a uno, la función de autocorrelación oscila, reflejando los disparos y depresiones de n .

La situación donde λ es diferente de cero, son extensiones naturales de aquellas donde λ es cero.

Cuando λ es negativa, la función de autocorrelación de n adquiere más un carácter oscilatorio por la naturaleza explosiva del ambiente.

Cualquier grado de variabilidad y predictibilidad en n puede ser producida por muchas combinaciones de r y λ . Para separar las causas se requieren observaciones prolongadas en el tiempo.

Una medida natural del error de seguimiento es la discrepancia promedio entre t y k_t , definiendo el error relativo de seguimiento como:

$$e = (k_t - n_t)^2 / \sigma_k^2$$

Esta cantidad es el error de seguimiento promedio relativa a la variabilidad ambiental de k_t . Si consideramos que k_t es dado por un proceso autorregresivo de primer orden, podemos determinar como e depende de la sensibilidad de respuesta de r y de la predictibilidad ambiental λ .

Sustituyendo; $n_t = \sum_{i=1}^t (1-r)^{t-i} k_{t-i}$, en la ecuación anterior, obtenemos

$$e = (\sigma_k^2 - 2 \sum_{i=1}^t (1-r)^{t-i} \gamma_k(i) + \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^t r^{2(t-i-j)} (1-r)^{i+j} \gamma_k(i-j)) / \sigma_k^2$$

Donde $\gamma_k(h)$ es la función de autocovarianza de k_t . La ecuación anterior nos da el valor relativo de seguimiento para cualquier proceso de k_t . En el caso especial de un proceso autocorregresivo de primer orden para k_t tenemos:

$$\gamma_k(h) = \sigma_k^2 \lambda^{|h|}$$

Sustituyendo en la ecuación anterior, tenemos finalmente,

$$e = 2(1-\lambda) / (2(1-\lambda) + r((3\lambda-1)-r\lambda))$$

que es el error relativo del seguimiento para el caso de un proceso autorregresivo de primer orden k_t .

La relación intuitiva de estos resultados es como sigue: en un ambiente impredecible respondiendo a cambios en k_t , no es probable mejorar el seguimiento porque en el siguiente intervalo, k_t es posible que sea de algún valor muy diferente al necesario para permanecer cerca de su valor previo. En esta situación, el error mínimo de seguimiento aparece de una n_t poco sensible cuya intensidad permanece fija en el valor promedio de k_t . Sin embargo si el ambiente es predecible en el sentido de que cuando los cambios ocurren, es probable de que persistan, entonces respondiendo a los cambios obtendremos una reducción en el error de seguimiento.

e) MODELO MARKOVIANO DE NATALIDAD PURA PARA EL PRONOSTICO DE HELADAS

Un proceso markoviano se le define formado por un conjunto de objetos y estados tal que en cualquier momento dado cada objeto debiera estar en uso de dichos estados y la probabilidad de cambio depende solamente de dichos estados.

Si señalamos P_{ij} a la probabilidad de cambio de i a j , la matriz $N \times N$ $= P_{ij}$ es la matriz estocástica de transición asociada al proceso, donde los elementos de cada renglon tienen suma unitaria.

Si P es estocástica, entonces; P_{ij}^n representa la probabilidad de que un objeto cambie del estado i al estado j en n periodos de tiempo.

Un proceso de presencia de una helada por ejemplo, es un proceso estocástico si las probabilidades de transición dependen del estado actual y no de la historia pasada. Estos criterios implican en el límite cuando el intervalo de tiempo tiende a cero, que las ecuaciones de Kolmogorov para las probabilidades de estado estarán dadas por:

$$dp_{n(t)} = -(\lambda_n + \mu_n) P_{n(t)} + \mu_{n+1} P_{n+1(t)} + \lambda_{n-1} P_{n-1(t)} \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{dp(t)}{dt} = -\lambda_0 P_{0(t)} + \mu_1 P_1(t) \dots \dots \dots (2)$$

Una forma de resolver estas ecuaciones es reemplazandolas con una sola ecuación parcial diferencial, para la función probabilística generativa.

$$F(z, t) = \sum_{n=0}^{\infty} P_{n(t)} \cdot z^n \dots \dots \dots (3)$$

Si multiplicamos la ecuación (1) por z^n , y sumamos para toda (n) agregando la ecuación (2) tendremos.

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{dp_n(t)}{dt} z^n - (\lambda + \mu) \sum_{n=1}^{\infty} np_n(t) z^n + \mu \sum_{n=0}^{\infty} (n+1) P_{n+1}(t) z^{n+1} + \lambda \sum_{n=1}^{\infty} (n-1) P_n(t) \dots \dots \dots (4)$$

Diferenciando la ecuación (3), tendremos:

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{dp_n}{dt} z^n = \frac{\partial F}{\partial z} (z, t)$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} np_n(t) z^n = z \frac{\partial F}{\partial z} (z, t)$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} (n+1) P_{n+1}(t) z^n = \frac{\partial F}{\partial z} (z, t)$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} (n-1) P_{n-1}(t) z^n = z^2 \frac{\partial F}{\partial z} (z, t)$$

Con lo que la ecuación (4) se transformará en;

$$\frac{\partial F}{\partial t} (z, t) = [-(\lambda + \mu) z + \mu + \lambda z^2] \frac{\partial F}{\partial z} (z, t) \dots (5)$$

Resolviendo por variables separables, una solución será.

$$e^t \frac{(z-1)^{1/(\lambda-\mu)}}{z-y} \quad \text{donde } y = \frac{\mu}{\lambda}$$

La solución genral de la ecuación (5) será;

$$F(z, t) = g \left[e^t \frac{(z-1)^{1/(\lambda-\mu)}}{z-y} \right] \dots \dots \dots (6)$$

Donde g es una función arbitraria de una sola variable. Para determinar g , se nota que para una población inicial de un solo elemento; $P_1(0) = 1$ y $P_n(0) = 0$; entonces :

$$F(Z, 0) = \sum_{n=0}^{\infty} P_{n(0)} Z^n \quad Z^n = Z \dots \dots (7)$$

Por lo que la ecuación (6) podrá escribirse como:

$$Z = g \left[\frac{Z-1}{Z-\sigma} \right]^{1/(\lambda-\mu)} \dots \dots \dots (8)$$

Si hacemos: $y = \frac{Z-1}{Z-\sigma} \quad 1/(\lambda-\mu)$; inversamente se tendrá que:

$$Z = \frac{\sigma y^{(\lambda-\mu)-1} - 1}{y^{(\lambda-\mu)-1}}; \text{ Por lo que la ecuación (8) podrá darse como:}$$

$$g(y) = \frac{\sigma y^{\lambda-\mu} - 1}{y^{\lambda-\mu} - 1}$$

1) PROCESOS MARKOVIANOS LINEALES.

Un proceso markoviano lineal, es un proceso puro de natalidad en el cual la probabilidad de un evento en un pequeño intervalo de tiempo es proporcional tanto al número de eventos ya manifestados como también a la duración del intervalo transcurrido. Este es para toda $n, \mu_n = 0$ y $\lambda_n = n\lambda$. La constante de proporcionalidad μ es la tasa de llegadas. la solución a las ecuaciones de Kolmogorov para cuando sea presentado ya el primer evento, será:

$$P_n(t) = \begin{cases} (1-e^{-\lambda t})^{n-1} e^{-\lambda t} & (n=1, 2, \dots) \\ 0 & (n=0) \end{cases}$$

El número esperado de eventos en el tiempo t será;

$$E[N(t)] = e^{\lambda t} .$$

Si ya se han manifestado en $N(0)$ eventos, entonces el número esperado de eventos en t estará dado por:

$$E_n[t] = N(0) + \lambda t.$$

2) PROCESO POISSONIANO DE NATALIDAD PURA.

Un proceso poissoniano de natalidad es un proceso markoviano puro de nacimiento en el cual la presencia de un evento en cualquier intervalo de tiempo es independiente del número de eventos ya manifestados, esto es, para toda n , $\lambda_n = \lambda$, y $\mu_n = 0$, el número de eventos en el futuro no será el resultado de los eventos ya manifestados por lo que estos pueden manifestarse en cualquier momento aun y cuando ninguno se haya presentado.

La solución a las ecuaciones de Kolmogorov para cuando ningún evento haya sido observado, será;

$$P_{n(t)} = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t} \quad n=0, 1, 2, \dots$$

Pero si existe $N(0)$ eventos ya manifestados, tendremos:

$$P_{n(t)} = \begin{cases} \frac{(\lambda t)^{n-N(0)} e^{-\lambda t}}{[n-N(0)]!} & \text{Si } [n \geq N(0)] \\ 0 & \text{Si } [n < N(0)] \end{cases}$$

El tamaño esperado de eventos en el momento t será;

$$E(N(t)) = N(0) + \lambda t.$$

Por lo que la ecuación (6) podrá escribirse como:

$$F(Z, t) = \sigma \frac{\left[\frac{e^t(z-1)}{z-\sigma} \right]^{1/(\lambda-\mu)} \lambda^{-\mu} - 1}{\left[\frac{e^t(z-1)}{z-\sigma} \right]^{1/(\lambda-\mu)} \lambda^{-\mu} - 1}$$

Simplificando tendremos que:

$$F(Z, t) = \mu \frac{[e^{t(\lambda-\mu)} - 1] + Z [\mu e^{t(\lambda-\mu)} + 2]}{[\lambda e^{t(\lambda-\mu)} - \mu] - Z\lambda [e^{t(\lambda-\mu)} - 1]}$$

Desarrollando esta última ecuación en potencias de z , se obtiene $P_n(t)$ como coeficiente de z^n y si además hacemos que:

$$r(t) = \frac{\mu [e^{t(\lambda-\mu)} - 1]}{\lambda e^{t(\lambda-\mu)} - \mu} ; S(t) = \lambda \frac{[e^{t(\lambda-\mu)} - 1]}{\lambda e^{t(\lambda-\mu)} - \mu}$$

$$m(t) = \frac{\lambda - \mu e^{t(\lambda-\mu)}}{\lambda e^{t(\lambda-\mu)} - \mu}$$

Entonces tendremos que:

$$F(Z, t) = \frac{r(t) + Z m(t)}{1 - ZS(t)} = [r(t) + Z m(t)] \left[\frac{1}{1 - ZS(t)} \right] \dots (9)$$

Por series geométricas, sabemos que:

$$\frac{1}{1-X} = \sum_{n=0}^{\infty} X^n \quad (|X| < 1)$$

Por lo que podremos escribir la ecuación (9) como:

$$F(Z, t) = r(t) + \sum_{n=0}^{\infty} [r(t)S(t) + m(t)] [S(t)]^{n-1} Z^n$$

Algebraicamente puede verificarse que:

$$r(t)s(t)+m(t) = [1-r(t)][1-s(t)]$$

Obteniéndose la versión final de la ecuación (9).

$$F(Z,t) = r(t) + \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ [1-r(t)] [s(t)]^{n-1} z^n \right\}$$

Cuyos coeficientes nos dan las ecuaciones de Kolmogorov.

Cualquier potencia de una solución de la ecuación (5) es en sí misma una solución, por lo que podemos decir que:

$$\phi(Z,t) = [F(Z,t)]^{N(0)}$$

Es una solución dada por la ecuación (13), satisfaciendo las condiciones iniciales de:

$$\phi(Z,t) = [F(Z,t)]^{N(0)} = z^{N(0)}$$

Entonces tendremos que $\phi(Z,t)$ es la función generatriz de las probabilidades y de estado con un inicio de $n(0)$ elementos.

V RESULTADOS

OBSERVACIONES.- Debemos saber utilizar y sacar provecho de la información tenida a la mano o tomar aquella que en el menor tiempo posible nos permita la toma de decisiones sobre el manejo y uso óptimo de los recursos naturales. Los modelos clima-producción deben ser un instrumento auxiliar para este propósito al ser interpretados a una forma simple y sencilla para su posible uso diario. Esto nos permitira el tiempo necesario para en un futuro poder desarrollar e implementar aquellas metodologías que después de ser exhaustivamente probadas y verificadas bajo diferentes situaciones, demuestren ser las que más convengan a nuestros fines y propósitos. Con esto en mente y basados en la interpretación de nuestro modelo, hacemos las siguientes sugerencias.

a) Para la obtención del rendimiento máximo sostenido de un recurso bajo explotación y en la que no se cuente con información climatológica; Multiplicar el incremento de biomasa promedio de cada grupo de edad por su sobrevivencia (que puede ser calculada por métodos empíricos tan sencillos como los aquí utilizados para la presa de Atlangatepec). El máximo valor de los productos nos estará señalando la mínima edad recomendable de primer entrada a la pesquería y su proporción relativa respecto a lo observado de la edad de mayor explotación, el porcentaje de incremento esperado respecto a las cosechas tenidas hasta la fecha, (Ritter et. al., 1993).

b) Graficar valores de biomاسas observadas en tiempos consecutivos t y $t + 1$; Los valores de intercepción respecto a la recta de 45° nos estará dando los valores local-temporal de máxima capacidad de sosten y la pendiente o tangente a la curva en este punto será el eigenvvalor o razón finita de incremento. Si el máximo eigenvvalor observado es mayor de uno la población seguira incrementando y si es menor tenderá a la extinción. La razón finita de incremento (λ) está relacionada a la razón intrínseca de

crecimiento por la expresión; $\ln(\lambda) = r$. Cuyos valores nos estarán señalando posibles comportamientos "caóticos" y bifurcaciones así como la estabilidad de los ecosistemas como es explicado en el interior del texto. Para la determinación de la razón de explotación, utilícese la expresión: $H = 1 - (ne^{-r} + 1) / (n + 1)$ donde si la curva de producción es simétrica toma el valor de $n = 2$, (Pella y Tomlison, 1969).

c) Graficar los valores de producción con sus correspondientes valores del factor climático limitante (pruebe la precipitación semanal); La envolvente de la elipse de dispersión de valores al cruzarse con la recta de valores acumulativos de producción nos dará los puntos o valores de equilibrio, compárese con el valor de intercepción de la recta extrapolada de los valores acumulativos en que se considere que no hubo factor limitante. La diferencia nos dará los incrementos esperados bajo condiciones no limitantes o con suplementos adicionales de agua, como el realizado en el ejemplo de los pastizales de Tlaxcala. La disponibilidad de la lluvia en referencia al incremento de biomasa, nos dará la eficiencia de conversión.

d) Gráfique valores de: $\ln(K - B_t) / B_t$ en el tiempo utilizando como valores de K el punto en que la curva logística tiende a estabilizarse. La pendiente de la recta ajustada a los valores observados será el valor general de " r ". Como los ejemplos de las tablas aquí calculadas para, lluvias y heladas y su probabilidad de presencia en el Estado de Tlaxcala.

V RESULTADOS

VALORES DE PRODUCTIVIDAD Y RELACIONES CLIMA-PRODUCCION EN PRESAS, PASTIZALES, BOSQUES Y CULTIVOS DE MAIZ.

a) CRECIMIENTO, SOBREVIVENCIA Y OPTIMIZACION DEL RECURSO DE LA CARPA (Cyprinus carpio) EN LA PRESA DE ATLANGATEPEC, TLAXCALA, UN CASO ESPERADO DE CLIMA ESTABLE.

Los recursos naturales renovables como las pesquerías, poseen la capacidad de autoregenerarse y pueden proveer al hombre de infinidad de recursos, alimentos y servicios; y el hombre a su vez posee la capacidad para la conservación y para la destrucción de este recurso.

La propuesta comunmente encontrada en el manejo de los recursos biológicos es la maximización de su rendimiento sostenido, pero conforme la tecnología mejora y la demanda aumenta, la presión sobre estos recursos crece, y si además se pretende seguir la política económica de máxima renta o ganancia, prefiriéndose la exterminación a la conservación, crece seriamente la posibilidad de llegar a un punto crítico de acelerado decremento en la productividad como es ya observado en algunas pesquerías (Cruz et al, 1989), Ritter et. al.(1979).

Hasta la fecha, la explotación de los recursos pesqueros es similar a la explotación de los recursos mineros, es decir: el recurso es descubierto, explorado y explotado sin ninguna consideración para su conservación, luego que este recurso no produce dividendos económicos por su baja densidad, resultante de la sobre-explotación, es abandonado y se inicia otra búsqueda por nuevos recursos. Un ejemplo clásico de esta situación es la pesca de la ballena, atún, salmón, sardina, anchoveta, etc. Sin embargo, recientemente ha habido un incremento de conciencia en la necesidad de prevenir este ciclo de sobre-explotación, desarrollándose conceptos de administración pesquera con el propósito de maximizar la producción sobre bases permanentes y este principio de máximo rendimiento sostenido, ha sido incorporado como el objetivo o propósito de obtener en toda administración científica del recurso, Gulland (1971), Cruz et al (1989), Ritter y Guzmán (1978, 1979, 1984, 1982, 1992).

Independientemente de cómo se defina, o que método se siga para

la obtención de este objetivo, una administración racional de los recursos pesqueros requiere un entendimiento detallado de su biología, dinámica poblacional intrínseca y su interrelación con otras especies, Ritter et al (1979), Psaroupulus y Ritter(1976). El objetivo de este trabajo se refiere al segundo de estos propósitos; se puede decir que uno de los problemas típicos en los estudios de la dinámica de una población sometida a explotación, es la predicción del rendimiento, considerando factores positivos como el crecimiento y el reclutamiento, así como factores negativos como la mortalidad natural y por pesca. El presente estudio utiliza para lograr sus objetivos: el modelo logístico en sus aspectos matemáticos de simulación del crecimiento y las características biológicas de la especie en estudio (*Cyprinus carpio*), Suárez (1991), Ritter et. al. (1992)

METODOLOGIA.

En el presente estudio se estimaron algunas características poblacionales e individuales de la carpa (*Cyprinus carpio*) que habita en la presa San José Atlangatepec, Tlax.; características tales como crecimiento individual, mortalidad, sobrevivencia y aporte de biomasa poblacional, A fin de determinar posibles relaciones clima-producción en un sistema considerado como clásico de clima estable. Así también, el de desarrollar una metodología simple a partir de la información de la estructura de edades de las capturas y obtener las edades de mínima entrada a la pesquería, convenientes para permitir realizar las deseadas capturas de máximo rendimiento sostenido.

De datos de lectura de escamas se estimó la relación edad-longitud y esta se ajusto a la ecuación de crecimiento de Von Bertallanffy por el método de Tomlinson y Abramson (1961), obteniendo una ecuación de crecimiento de la forma:

$$l_t = 61.25(1 - e^{-0.1972(t+0.0052)})$$

donde l_t = longitud de la carpa (cm) al tiempo t.

A partir de muestreos de longitud y peso de la carpa, se obtuvo la relación peso-longitud, la cual se ajustó a la ecuación de regresión potencial quedando:

$$w_t = 0.065 l_t^{2.81}$$

donde W = peso de la carpa (gr) al tiempo t .

La sobrevivencia y mortalidad se estimaron por dos métodos: El modelo de Chapman y Robson (1960), y la ecuación de Beverton y Holt (1956); utilizando para el primero la edad promedio de las capturas y el número de individuos, y para el segundo, la longitud promedio de las capturas y los parámetros de la ecuación de crecimiento de Von Bertalanffy; obteniendo la mejor estimación de sobrevivencia por el modelo de Chapman y Robson de 0.5493.

De los muestreos de las capturas se observa que la mayor frecuencia de intensidad pesquera se da en individuos de un año, sin embargo, los mayores aportes de biomasa se dan hasta los 6 años. Figura (3,4).

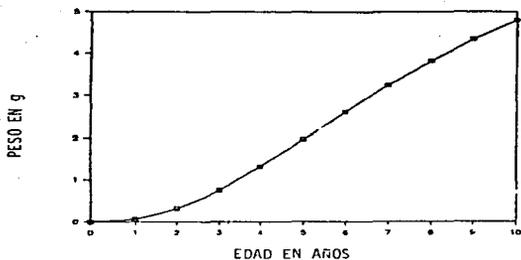


Fig. (3) Curva de crecimiento en peso de la carpa (*Cyprinus carpio*) a intervalos de un año, para un período de 10 años.

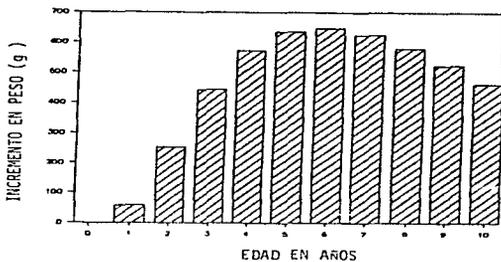


Fig. (4) Incremento individual en peso (g) de la carpa (*Cyprinus carpio*) a intervalos de un año.

b) RELACIONES CLIMA-PRODUCCION, CONDICIONES DE EQUILIBRIO Y OPTIMIZACION DE LOS PASTIZALES EN EL ESTADO DE TLAXCALA CON ABASTECIMIENTO UNIFORME EN LA LLUVIA.

El mejoramiento de la actividad pecuaria depende de un adecuado aprovechamiento de los pastizales naturales, cuyas relaciones son estrechas con el clima, topografía y suelos.

Con la demanda y presión de una población creciente en busca de alimentos, los recursos naturales de algunas comunidades bióticas son llevadas a niveles donde la producción es menor a su óptimo potencial e incluso se llega a niveles de sobre-explotación y extinción del recurso.

Los recursos naturales del estado de Tlaxcala han sido objeto de un manejo deficiente observandose cambios en los ecosistemas conduciendolos a un proceso irreversible de desertificación.

Los pastizales estan siendo sobre-explotados por la constante permanencia en ellos de un número de animales mayor a su capacidad de carga y al desconocimiento del efecto de factores del micro clima como son: la radiación solar, temperatura, precipitación, viento, CO_2 , etc.

La producción forrajera es diferente para las distintas especies y variedades, contando cada una con distintas adaptaciones climáticas, por lo que para la introducción de pastizales o administración de los recursos existentes, es necesario recurrir a la medición de sus temporales incrementos en biomasa y sus relaciones con elementos del microclima, conocimiento que junto con el uso de técnicas matemáticas de optimización haran factible la determinación de las condiciones óptimas de un aprovechamiento sostenido del recurso, mayores a las actualmente observados.

El objetivo de este trabajo es contribuir a un mejor conocimiento de los efectos locales del microclima sobre la producción. Las relaciones microclima-producción así como el uso de un modelo matemático de simulación de la dinámica de crecimiento del ecosistema y de la obtención de los puntos de equilibrio para la optimización del recurso, debe contribuir a beneficiar la actividad pecuaria de la zona obteniendo incrementos substanciales en la producción de forrajes, elevando su capacidad de sosten del ecosistema, lo que adicionalmente debe manifestarse en una

disminución en el consumo de granos por el ganado, los cuales pueden destinarse para consumo humano, Gutierrez (1992).

METODOLOGIA.

Con el conocimiento previo que se tenía de los pastizales, definidas las áreas de estudio y anotadas las condiciones y características generales de las mismas, se localizó al azar un número variable de puntos en los cuales se hizo un muestreo de un metro cuadrado en cada una de las regiones. Al realizar el muestreo del cuadrante se siguió esta sencilla secuencia: a) Se arrancaron todas las plantas herbáceas no gramíneas y se registro el número de cada especie de pastizal encontrado, b) se cortaron a ras de suelo las especies de pastos y luego se procedió a su medición y pesado a cada planta de acuerdo a su especie. Los datos fueron obtenidos por muestreos realizados semanalmente, en un período de tiempo de ocho meses, comprendidos desde el mes de marzo al mes de octubre (período de crecimiento). El total de área muestreada de cada región de estudio fué de 32 metros cuadrados. Posteriormente con el crecimiento observado y la densidad por metro cuadrado de cada especie, se obtuvo la producción semanal observada por metro cuadrado de cada especie y se extrapolo a una hectárea de la superficie total que ocupan los ecosistemas de pastizales.

Con datos de las estaciones climatológicas de la región se obtuvieron datos sobre precipitación promedio y acumulada, temperatura máxima y mínima, evaporación promedio y acumulada y con los datos semanales de biomasa de cada una de las especies de pastos se practicaron regresiones múltiples, lineales, exponenciales, logarítmicas y potenciales; obteniéndose de la precipitación y producción acumulada los mayores coeficientes de correlación de ajuste significativo siendo la precipitación el factor climatológico determinante en el desarrollo de los pastos de la localidad.

Con las estimaciones semanales de biomasa (en peso húmedo) y densidad por metro cuadrado, se logro calcular la producción semanal de cada especie en cada una de las siete regiones de estudio al igual que su producción total anual, tabla 2, obteniendo así también la relación: precipitación-producción acumulativas para las diferentes especies y áreas de estudio,

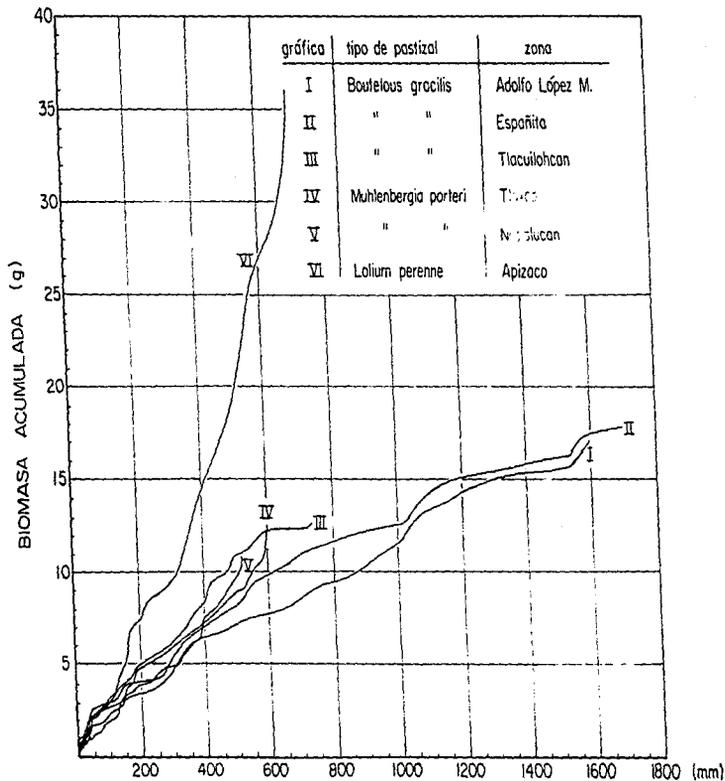


FIG. 5 GRÁFICAS DE BIOMASA ACUMULADA PARA DIFERENTES TIPOS DE PASTIZAL EN FUNCIÓN DE LA PRECIPITACION ACUMULADA EN ALGUNAS ZONAS DEL ESTADO DE TLAXCALA, MEX.

TABLA 2 . Producción por Hectárea y Total Anual de las principales especies de pastos en las regiones de estudio.

ESPECIE	REGION	PRODUCCION POR HECTA- RA (Ton/ha)	PRODUCCION TOTAL ANUAL OBSERVADA. (Ton/año).
ADOLFO LOPEZ MATEOS			
<i>Bouteloua gracilis</i>		16,686	2 102,320
<i>Habenbergia porteri</i>		12,897	1 727,667
<i>Hilaria cenchrifolia</i>		11,775	1 613,000
APIZACO			
<i>Lolium degenae</i>		56,816	1 681,074
ESPARITA			
<i>Bouteloua gracilis</i>		19,064	1 718,460
<i>Habenbergia porteri</i>		14,904	1 361,300
<i>Hilaria cenchrifolia</i>		10,099	1 460,810
NOPALUCAN			
<i>Bouteloua gracilis</i>		12,685	190,275
<i>Habenbergia porteri</i>		13,306	199,500
<i>Hilaria cenchrifolia</i>		8,916	136,940
TLACUILMUCAN			
<i>Bouteloua gracilis</i>		11,703	936,240
<i>Habenbergia porteri</i>		11,109	884,720
<i>Hilaria cenchrifolia</i>		9,904	792,350
TLAXCO			
<i>Habenbergia porteri</i>		13,774	2 272,710
<i>Hilaria cenchrifolia</i>		10,693	1 793,695

figura (5).

c) CAMBIOS EN EL RENDIMIENTO MAXIMO SOSTENIDO EN LA PRODUCCION DEL RECURSO FORESTAL DEL ESTADO DE TLAXCALA POR EFECTOS DE VARIACION CLIMATICA..

Para 1985, Tlaxcala contaba con 76000 hectáreas de áreas arboladas de las que se permitieron el aprovechamiento del 20% (16000 hectáreas) en 17 ejidos y 40 pequeñas propiedades; en la actualidad las áreas arboladas han sido objeto de una explotación inmoderada, lo cual aunado a la creciente presión por el uso del suelo que convierte superficies con vocación forestal en áreas para otro uso, conducen a un aumento del deterioro ecológico a pesar de los importantes esfuerzos de reforestación realizados, el ritmo de deforestación rebaza fácilmente el 33% en relación a la superficie total, por lo que se considera que en la actualidad existen aproximadamente 50 mil hectáreas de superficie arbolada, siendo que a principios de siglo probablemente rebazaba las 100 mil hectáreas.

Uno de los principales problemas de los bosques de la región central de México y en particular del estado de Tlaxcala es conocer las características del comportamiento dinámico de sus ecosistemas. Dentro del campo de la biología se está utilizando cada vez más el método analítico de la física, el cual permite a través de observaciones y experimentos, estructurar modelos conceptuales que permitan establecer conexiones casuales entre las diferentes partes de un sistema viviente que ayuden a la búsqueda de un orden más profundo. En la presente investigación se plantean modelos para determinar las influencias íntimamente relacionadas con la variación climática, la producción de biomasa individual en el crecimiento poblacional y la explotación del recurso forestal. El modelo más completo para poblaciones de organismos explotados comercialmente toma en cuenta el reclutamiento (ingreso de individuos a la población), el crecimiento individual, la captura por explotación y la mortalidad natural. El modelo sirve para investigar el rendimiento máximo sostenido de los recursos forestales no solo como incremento del producto maderable sino como una técnica para conservar el bosque en niveles de producción óptima y sobre bases permanentes. Conociendo que para que una explotación forestal sea exitosa se debe explotar el recurso en

una forma tal que máximize el rendimiento y al mismo tiempo evite la sobre explotación que puede causar que el recurso forestal decline o se extinga.

Se estudia al bosque como un sistema biológico analizado en base a conocimientos matemáticos que nos permiten simular los tamaños poblacionales en producción y aportes de biomasa en unidades de tiempo, tamaños de equilibrio, variabilidad de especies, estabilidad o inestabilidad productiva, tamaños de máxima eficiencia en el rendimiento y su fragilidad a perturbaciones ambientales y a diferentes razones de explotación.

Conociendo a la población forestal en sus tamaños máximos en aporte de biomasa con un mínimo de posibilidades de extinción, planteando así opciones y estrategias a seguir en cualquier circunstancia que se presente, pronosticando con anticipación y con una probabilidad aceptable, el comportamiento y las posibles respuestas del bosque a las influencias del medio externo de perturbación, Ritter et al (1993), López (1993).

METODOLOGIA.- En el presente estudio sobre el desarrollo de modelos matemáticos para la optimización en la producción del recurso forestal en el estado de Tlaxcala se trabajó básicamente la zona del ejido "la Soledad" de la región forestal de Calpulalpan, debido a las facilidades prestadas por los ejidatarios y por las autoridades forestales, así como por los antecedentes de ser esta la de mayores aprovechamientos forestales en el estado. En la información se da la distribución del volumen por clase de edad, para la situación actual de dicho bosque. Las clases de edad se clasifican por intervalos de 10 años hasta el intervalo final de 80 a 90 años, su superficie o porcentaje de superficie forestal con clasificación de nueve grupos de diferentes especies. El árbolado (metros cúbicos) para los diferentes grupos de edad así como su incremento (metros cúbicos por año) y su eficiencia productiva por hectárea. Las edades de mayor porcentaje de superficie forestal corresponden a los grupos de 50-60 y 60-70 años con 43.2 % y 27.3% respectivamente, lo cual corresponde con un mayor volumen de árbolado en metros cúbicos de 37161, 25650 y 17599 para grupos de edad de 50-60, 60-70 y 70-80 respectivamente.

Los mayores volúmenes de incremento corresponden también a

estos grupos con 809.4, 589.9 y 339.1 metros cubicos por año. Sin embargo la eficiencia productiva metros cubicos por hectárea por año corresponde en primer lugar al grupo de 10-20 años con valores de 5.8 y de 2.6 para el grupo de 60-70, 2.3 al grupo de 50-60 y 2.0 al grupo de 70-80.

En la figura 6 se da el incremento medio anual en metros cubicos por hectárea para los diferentes grupos de edad, teniéndose una curva normal asimétrica, correspondiendo los mayores valores al grupo de 60 años. De la lectura de los anillos se identificarán las edades y se determino el incremento anual en los respectivos años correspondientes. En la figura (7) se observan los incrementos anuales en milímetros del grosor de los anillos y sus correspondientes años de crecimiento de 1952 a 1989 con valores máximos en los años de 1954-1956, 1961-1965, con una época de baja producción de 1967-1975 y en decremento desde 1979 hasta 1989.

La curva de crecimiento de longitud o altura respecto a la edad en años se da en la figura (8), y de esta relación edad-longitud se ajusta la ecuación de crecimiento de Von Bertalanffy.

Con esta ecuación se encontraron las longitudes del pino mexicanus para un periodo de 100 años, las longitudes calculadas y observadas utilizando esta ecuación se obtiene un ajuste casi perfecto.

En la figura (9) se dan los incrementos de biomasa acumulativa para los años de 1952 a 1989, con una tendencia claramente lineal. Se obtuvieron las precipitaciones de la zona de 1967 a 1983 así como las temperaturas medias observadas para estos mismos años así como sus correspondientes valores mínimos y máximos. En la figura 10 se tiene la relación de la precipitación media con el incremento del grosor de los anillos, relación exponencial dada por la ecuación de ajuste: $DW = 0.6512 \exp[(0.00314)(\text{Precipitación})]$.

De todos estos resultados, se observa que existe un mínimo de disparo en el crecimiento en 13.7 grados centígrados respecto a las temperaturas medias y de 24.5 grados centígrados para las temperaturas máximas, figuras 11, 12 y 13.

INCREMENTO MEDIO ANUAL EN PINO
Predio forestal 'La Soledad Tlax.'

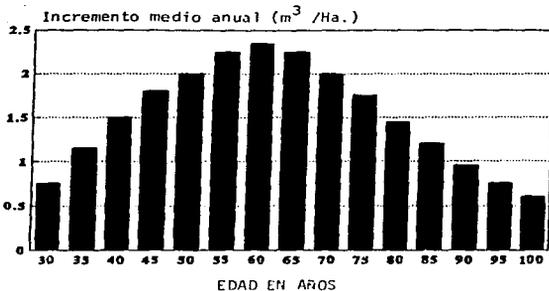


Fig. (6) Incremento medio anual en pino (m^3 /ha) en relación a la edad

INCREMENTOS ANUALES EN ANILLOS
En pino (mm)

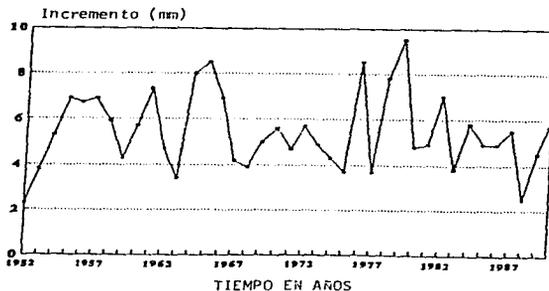


Fig. (7) Incrementos anuales en el grosor de los anillos

CURVA DE CRECIMIENTO EN PINO
Predio forestal la Soledad Tlax.

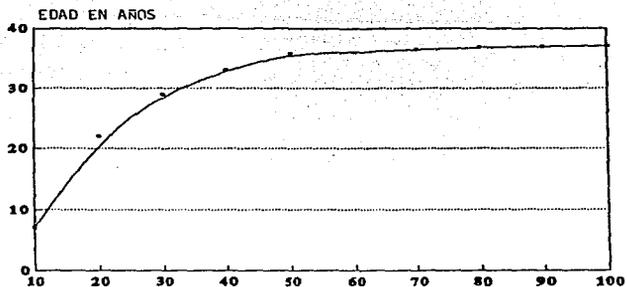


Fig. (8) Curva de simulación del crecimiento del pino en el predio forestal de la soledad, Tlaxcala
(.) Observado
(-) Calculado

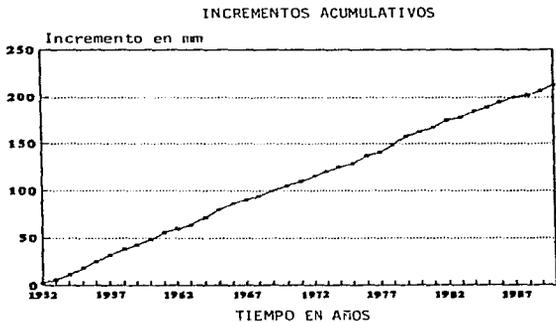


Fig. (9) Incrementos acumulativos en el grosor de los anillos.

PRECIPITACION VS INCREMENTO

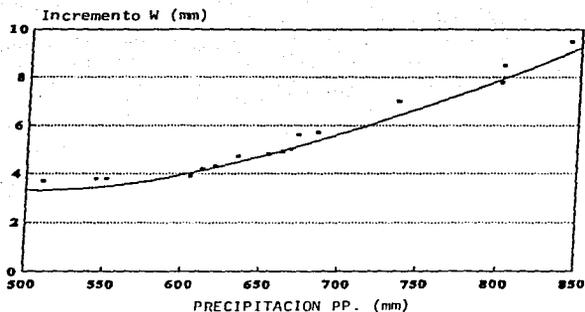


Fig. (10) Relación de la precipitación media con el incremento del grosor de los anillos en pinos.

TEMPERATURA MEDIA (°C) VS INCREMENTO

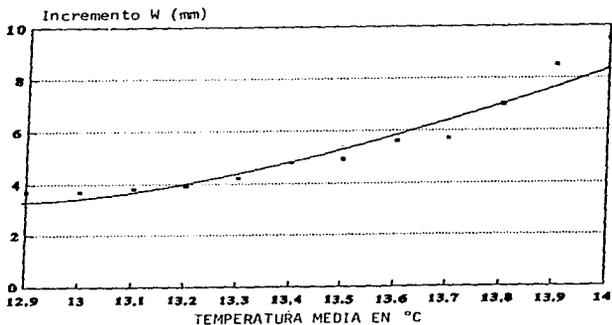


Fig. (11) Relación de la temperatura media con el incremento del grosor de los anillos en pinos.

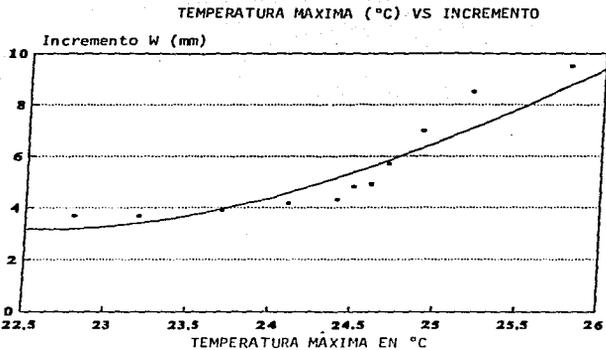


Fig. (12) Relación de la Temperatura máxima con el incremento del grosor de los anillos en pinos.

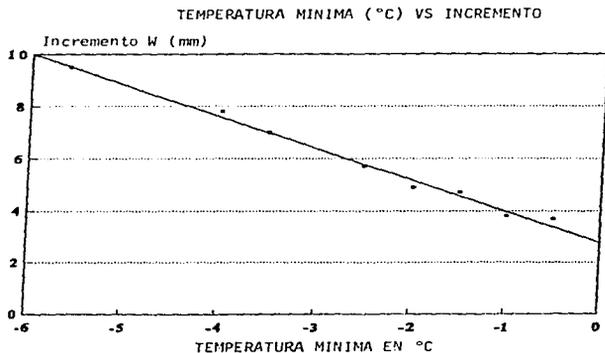


Fig. (13) Relación de la Temperatura mínima con el incremento del grosor de los anillos en pinos.

d) UN METODO SIMPLE DE CALCULO DEL POTENCIAL PRODUCTIVO DE CEREALES

Este método está basado en la consideración de que la curva típica de crecimiento es básicamente idéntica para cualquier cultivo y puede ser caracterizado por; una etapa de crecimiento exponencial, otra etapa de crecimiento lineal y finalmente una etapa de maduración. Para cereales se considera que el crecimiento exponencial cesa cuando el 45% del período de crecimiento ha expirado coincidiendo con 2500 kg de materia seca superficial.

El período inicial es seguido por un período caracterizado de razón de crecimiento lineal, cubriendo un 40% del período de crecimiento. En el curso de los restantes 15% del período de crecimiento, la razón de crecimiento desminuye a cero, y así, en promedio, iguala la mitad del previo crecimiento lineal. Si la razón de crecimiento lineal (LGR) y la longitud del período de crecimiento (p) son conocidos, la producción total de materia seca (DM) puede ser calculada por: $DM = 2500 + 0.4 pLGR + 0.15 p \cdot 0.5 LGR$ o $DM = 2500 + 0.475 LGR \dots\dots\dots(1)$

La razón de crecimiento lineal es obtenida de valores promedio para cultivos y parámetros meteorológicos (Van Keulen 1976, 1986). Potenciales promedio diarios de simulación (GPHOT) en kg de CH_2O por ha. y por día pueden ser leídos directamente de la figura (49) como una función de irradianza para un valor dado de la máxima razón de asimilación de CO_2 . Las cuales son calculadas por métodos de regresión, (De Witt 1965) (Goudrian & Van Laar 1978).

Después de determinar el valor de GPHOT, la razón de crecimiento lineal sobre el suelo es calculado como:

$$LGR = GPHOT(1 - C_m * C_p) E_i * C_L * C_{SK} \dots\dots\dots(2)$$

Donde C_m es el factor de respiración de mantenimiento para el periodo de crecimiento lineal, y se lee de la figura (50), con temperaturas de referencia de 20°C para zonas templadas, 30°C en regiones tropicales y 25°C en ambas adaptaciones.

C_p es un factor de corrección de C_m para cuando el periodo de crecimiento lineal varía de los 46 días.

E_i es la eficiencia de conversión, C_L es el factor de influencia para cuando la cubierta del suelo es incompleta, utilizando un valor de 0.95 para cuando no existe información. C_{sk} es un factor de conversión de la materia seca total a materia seca arriba del suelo.

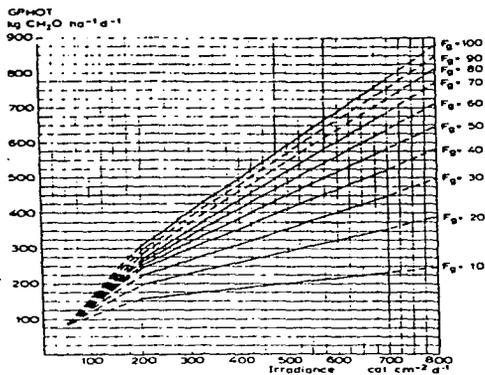


Fig. (14) Potenciales promedio de simulación (GPHOT) en kg de CH₂O por ha y por día del maíz en función de la irradianza.

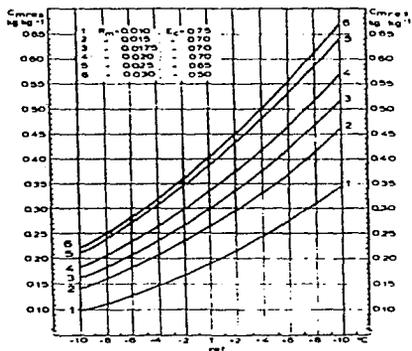


Fig. (15) Valores de respiración de mantenimiento para el periodo de crecimiento lineal del maíz en función de la temperatura.

e) CALCULO DE LA ESTABILIDAD PRODUCTIVA EN LOS AGROECOSISTEMAS.

Un ecosistema resulta más estable al aumentar su complejidad o con un mayor número de interconexiones entre los posibles niveles tróficos, así como con un incremento tanto de su biomasa o del número de especies de la comunidad.

Se sabe que estos procesos biológicos de interacción son altamente no-lineales, por lo que se dificulta seriamente la solución de las expresiones matemáticas de su dinámica de comportamiento.

En este estudio se pretende determinar homogeneidades de la productividad natural, en el estado de Tlaxcala, con base en las relaciones existentes entre ésta e índices climáticos que incorporan aspectos energéticos y de agua, lo que permitirá conocer sus potenciales e intervalos de variabilidad, y al analizar la información en el tiempo, obtener valores de respuesta, que al compararse en magnitud con el efecto ambiental, nos determinen el grado de estabilidad y sensibilidad dinámica de éstos sistemas.

En un ambiente de comportamiento estocástico con fluctuaciones climáticas aleatorias medidas por su varianza ambiental (σ^2), y para pequeñas fluctuaciones poblacionales medidas por la matriz comunitaria, cuyo tiempo de retorno al equilibrio es medido por las partes reales del máximo eigen valor negativo ($\Lambda = -\text{Re}\lambda_{\text{max}}$), La estabilidad biológica es dada por $\Lambda = \sigma^2/2$. Pero si sucede que Λ es mucho menor que $\sigma^2/2$, la población sufrirá grandes fluctuaciones con una tendencia a su extinción, por lo que la estabilidad o inestabilidad de un ecosistema estará dada por el balance del poder de recuperación de la estabilidad biológica en el ecosistema y la magnitud de las fluctuaciones ambientales, May (1973).

Una forma gráfica de analizar ésta dinámica de comportamiento consiste en dibujar las biomazas poblacionales en el tiempo t y $t+1$, y analizar los puntos de intersección con respecto a una recta de 45° , que son puntos de equilibrio o valores poblacionales de máxima capacidad de sosten temporales en la localidad. La pendiente de éstos puntos de intersección nos estarán dando los valores de los eigenvalores, de los cuales podemos decir que si toman valores menores a -1 el sistema tiene un comportamiento oscilatorio

inestable; si son mayores que -1 pero menores que cero, el sistema es oscilatorio pero estable; si los eigenvalores están entre cero y más uno el sistema es asintóticamente estable; y si el eigenvalor es mayor que más uno, el sistema es asintóticamente inestable, Vander Meer (1981).

f) PREDICTIBILIDAD DE LA LLUVIA, HELADAS Y SEQUIAS.

Se analizan para 8 estaciones del Estado de Tlaxcala los comportamientos de los cocientes de la varianza de la lluvia intranual σ_n^2 respecto a la varianza de la lluvia anual observada en nuestras series de tiempo σ_k^2 , y en referencia a los valores de r (que nos dicen la duración del período de lluvias o la rapidez con que se alcanza la saturación en la curva logística de lluvia acumulativa), figura (16).

Este cociente (sin considerar el valor de λ) para magnitudes pequeñas de r toma valores menores a la unidad. Con valores de r de 1.2 las zonas estables de Tlaxcala y Calpulalpan muestran una gran consistencia en su comportamiento, por lo que apenas si cambian el valor de sus cocientes en su valor unitario. Le siguen en esta misma manifestación en forma ascendente de inestabilidad; Hueyotlipan, Huamantla, Tlaxco, Cuapiaxtla y Atlangatepec respectivamente. Apizaco para estos valores de r muestra en su cociente valores mayores de 4.0. Aún y cuando Cuapiaxtla viene a ser la zona más inestable esto no se ve sino hasta que r toma valores mayores de 1.6, mientras que Apizaco desde muy temprano da señales de inestabilidad, así por ejemplo para cuando r es igual a 1.6 el valor en su cociente ya es de 10.0. Cuapiaxtla para este punto presenta un valor de 20.0.

El error de seguimiento promedio de una n_t a k_t y relativa a la variabilidad ambiental de k_t , figura (17) nos da un comportamiento similar al ya observado en la figura anterior, siguen siendo Tlaxcala y Calpulalpan las de mayor estabilidad en su comportamiento, seguido por Hueyotlipan quien presenta una gran inestabilidad para valores de r mayores a 1.3, seguido, por Huamantla, Tlaxco y Atlangatepec, quienes son en este orden más inestables que Hueyotlipan. Cuapiaxtla la zona más inestable presenta grandes cambios cuando r es mayor de 1.2 y de 1.5. Apizaco es la zona que más cambios presenta en su trayectoria de seguimiento siendo inestable cuando r toma valores mayores a 0.7, 1.0, 1.2 y 1.4. Podemos decir de lo anterior que para conocer la predictibilidad de la precipitación del estado de Tlaxcala, se ha analizado la estabilidad de la presencia de la lluvia interanual

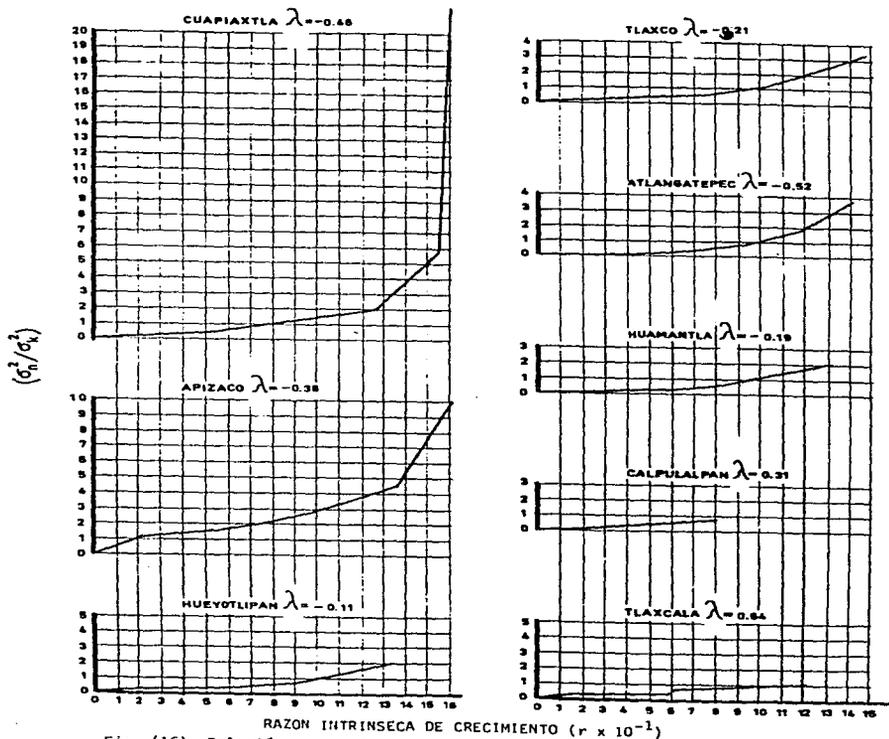


Fig. (16) Relación del cociente: varianza intraanual, varianza interanual en función de la razón intrínseca de crecimiento (r) del período de lluvias

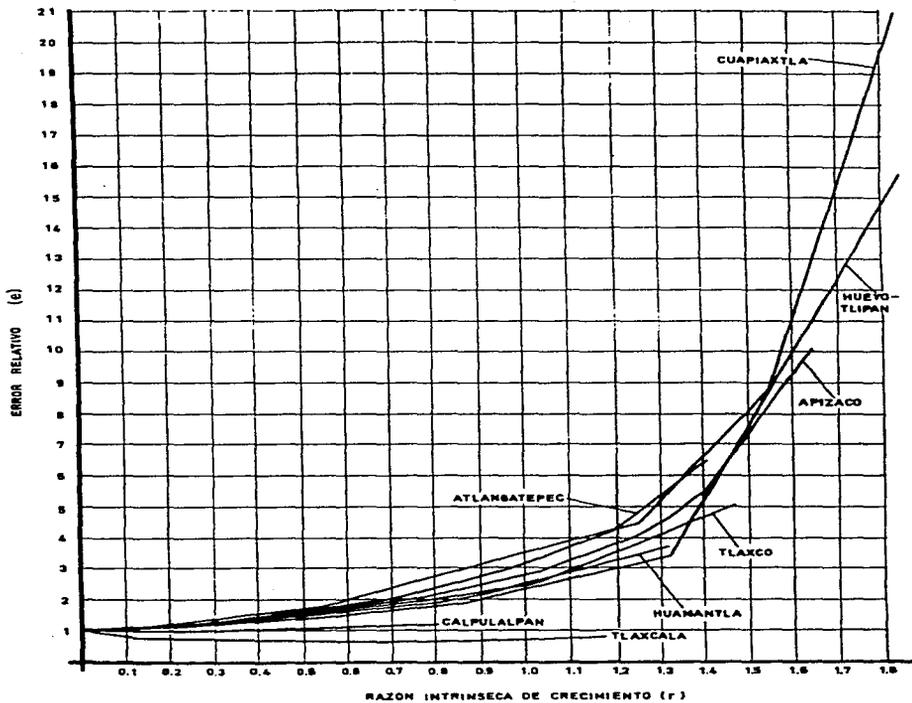


Fig. (17) Error relativo de seguimiento (e) en función de la razón intrínseca de crecimiento del periodo de lluvias. (r)

con un modelo estocástico lineal, observándose una primera zona más estable en su comportamiento y por lo mismo más predecible, con Tlaxcala y Calpulalpan como las zonas más representativas, mientras que Cuapiaxtla sería la de los mayores valores de inestabilidad y situaciones menos probables de pronóstico. Las distintas zonas analizadas presentan distintos grados de inestabilidad respecto a r y es Apizaco la que presenta un mayor número de manifestaciones o cambios respecto a esta variable.

El modelo de crecimiento logístico se utilizó para la simulación y pronóstico de la distribución de la precipitación acumulativa semanal en el año. La simulación se realizó para condiciones promedio de 30 años (1960-1990) y el pronóstico bajo condiciones de retroalimentación en el valor semanal observado y para cuando solo se conoce el valor inicial de la precipitación en la primer semana del inicio de lluvias, figura (20). Tanto la simulación como el pronóstico en sus dos opciones dan valores próximos a lo observado bajo condiciones promedio como puede observarse en la figura (18) para Tlaxcala, Tlaxco, Cuapiaxtla y Atlangatepec. En la tabla (3) se dan los valores de los coeficientes del modelo logístico para siete localidades del estado, sus valores normales y las probabilidades (%) de que se presente dicho comportamiento.

Las técnicas markovianas para el cálculo de las probabilidades de lluvia a lo largo de siete días, para todos los meses del año, siguen un mismo comportamiento en; Apizaco, Españaita e Ixtacuixtla, figura (19) mientras que en Cuapiaxtla Tlaxco y Atlangatepec difieren de este patrón de comportamiento en los meses de Junio a Septiembre, figura (19a). Obsérvese que las probabilidades de lluvia después de día de lluvia o de día seco, crecen y toman los mayores valores cuando queda establecida la temporada de lluvias, así mismo se ve que la probabilidad de lluvia después de día seco empieza a ser mayor que la probabilidad de lluvia después del día de lluvia con lo que queda perfectamente establecida su continuidad o persistencia, recuperándose el sistema a sus condiciones iniciales en el mes de octubre para todo el estado, (García et. al., 1973), (Mosíño y García, 1978).

De todo lo anterior podemos deducir que de todas las técnicas

estadísticas de simulación y pronóstico utilizados, fué el modelo logístico de lluvia semanal el que mejor resultados dió. Finalmente las cadenas markovianas de precipitación diaria a lo largo de siete días es potencialmente apto para la determinación homoclimática regional.

1) HELADAS - En la figura (21) se tienen los valores de autocorrelación en el número de heladas para la estación más representativa (Huamantla), por el período más prolongado en el número de años de observaciones, con ciclicidades significativas cada tres años, coincidiendo dicha ciclicidad con el período observado en las sequías. En la tabla (4) se tiene la frecuencia de heladas observadas y estimadas por el primer modelo markoviano de natalidad pura para Huamantla, Tlaxco y Apizaco. Todas las cuales presentan una simulación bastante cercana a los valores observados a excepción de Apizaco que presenta las mayores discrepancias, probablemente por el hecho conocido de que esta estación ha sido cambiada en varias ocasiones de localidad. Por el hecho de la buena simulación obtenida por este modelo markoviano y las consideraciones en que está basado, podemos señalar que el fenómeno atmosférico de las heladas en la zona es un sistema que guarda memoria y que presenta una ciclicidad de 3 años. En la tabla (5) se tienen los coeficientes del modelo de simulación logístico del número de heladas acumulativas en el año y sus respectivas probabilidades (%) de presencia para diferentes rangos de comportamiento en 8 zonas del estado de Tlaxcala .

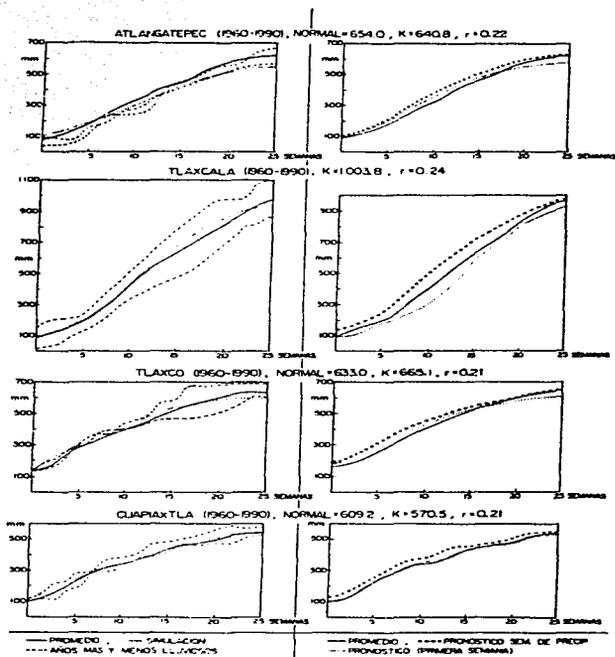


Fig. (18) Simulación y pronóstico de la lluvia semanal basado en el modelo logístico.

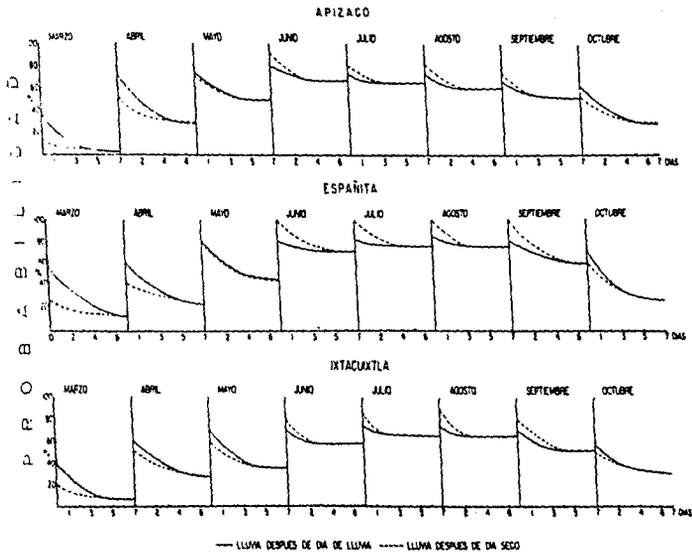


Fig. (19) Cálculo de las probabilidades de lluvia después de día de lluvia y lluvia después de día seco de marzo a octubre para seis localidades del estado de Tlaxcala.

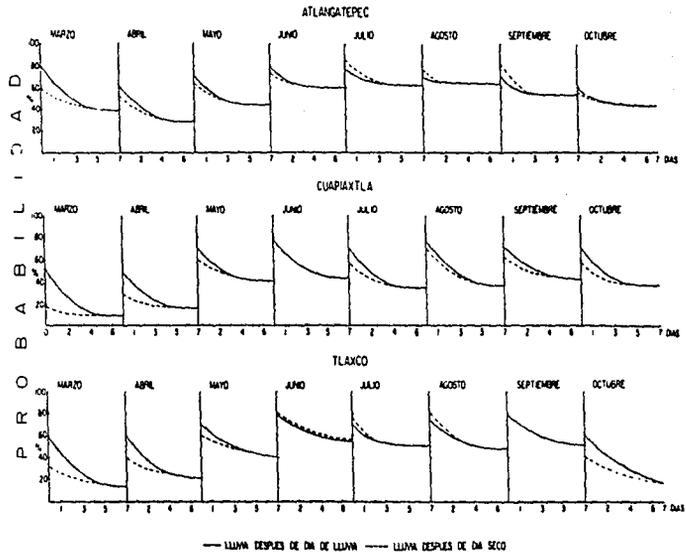


Fig. 19a.

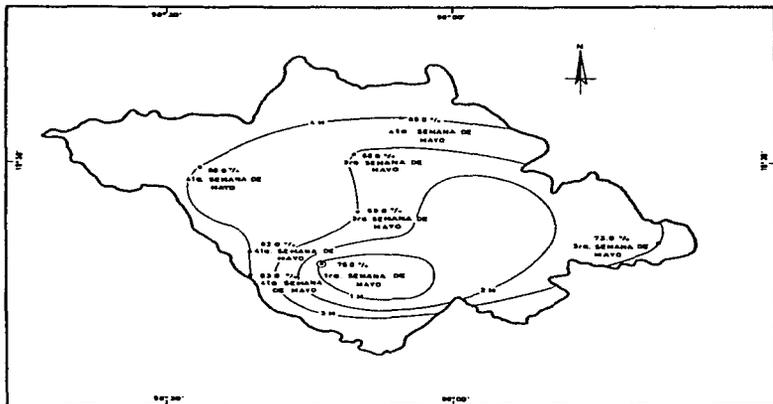


Fig. 20. Cálculo de las probabilidades para la semana del inicio de las lluvias con base en datos diarios, con el 70 al 90% de probabilidad.

TABLA 3

Coefficientes de ajuste del modelo logístico (k, r) semanal de lluvia y sus respectivas probabilidades de ocurrencias (%).

LOCALIDAD	GRUPO (mm)	K	r	PROBABILIDAD DE OCURENCIA	VALOR DE LA NORMAL (mm)	PRECIPITACION INICIAL (mm)
TLAXCALA	400-600	537	0.26	6%	836	44.5
	601-800	690	0.25	43%		31.6
	> 801	848	0.26	51%		55.7
TLAXCO	400-600	554	0.21	48%	683	156.0
	601-800	645	0.22	31%		111.0
	> 800	769	0.22	19%		181.0
ATLANGATEPEC	400-600	562	0.23	34%	654	98.3
	601-800	642	0.22	47%		95.3
	> 801	744	0.23	17%		139.6
CUAPIAXTLA	401-600	570	0.22	63%	609	121.9
	601-800	794	0.21	37%		132.0
IXTACUIXTLA	400-600	553	0.25	38%	653	67.3
	601-800	771	0.20	54%		112.0
	> 801	851	0.23	8%		129.0
APIZACO	400-600	532	0.20	12%	786	95.4
	601-800	756	0.22	52%		169.0
	> 801	1078	0.22	36%		120.5
ESPAÑITA	400-600	766	0.23	36%	1018	107.9
	601-800	1470	0.25	64%		247.0

AUTOCORRELACION ESTIMADA

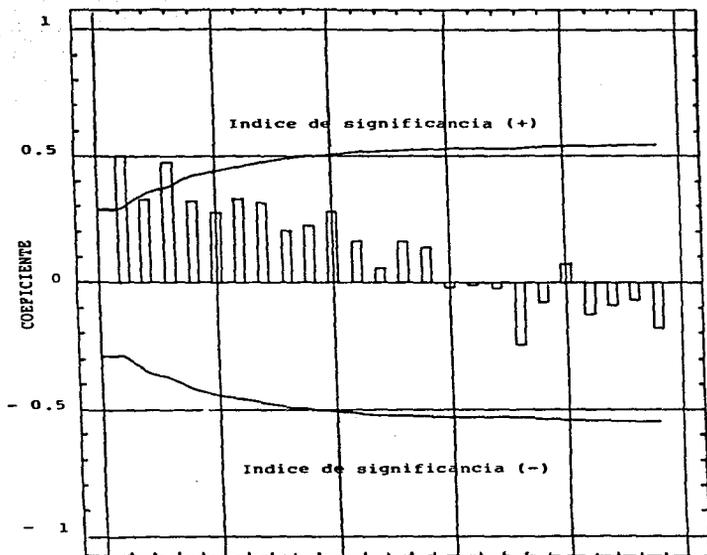


Fig. 21 Valores de autocorrelación para la zona mas representativa - Huamantla, en los valores del número anual de heladas.

Tabla No. 4

Frecuencia de haladas observadas y estimadas por el primer modelo Markoviano para Huamantla, Cuapiaxtla, Tlaxco y Apizaco.

	TLAXCO		APIZACO		HUAMANTLA		CUAPIAXTLA	
	OBSERVADAS	ESTIMADAS	OBSERVADAS	ESTIMADAS	OBSERVADAS	ESTIMADAS	OBSERVADAS	ESTIMADAS
H	0.73	0.741			0.7	0.698	0.26	0.189
J	0.64	0.523	0.14	0.253	0.65	0.652	0.13	0.221
A	0.26	0.37	1.75	1.151	0.61	0.609	0.3	0.263
A	0.31	0.261	9	5.233	0.57	0.569	0.34	0.309
S	0.31	0.195	14.41	23.78	0.57	0.43	0.34	0.212
O	0.28	0.706			0.74	1.3	0.34	0.75
N	4.06	2.559				3.94	3.17	2.647
	9.28	9.271			11.93	11.96	10.78	9.334
	0.979537	0.966982			2.114073	2.125613	3.506158	4.015808
	0.635776	0.688930			1.796455	1.789060	2.240723	1.986447
	0.481287	0.450917	0.183191	0.212737	1.576270	1.578934	1.235397	1.259548
	0.299804	0.303993	0.32704	0.039486	1.411983	1.414010	0.864610	0.884828
	0.343746	0.356712			0.396155	0.419153	0.353515	0.368936
	0.080197	0.077549	0.009322	0.008421	0.114258	0.106967	0.085039	0.082164
	0.019555	0.020184	0.002387	0.002387	0.031426	0.033025	0.022707	0.021971
	0.005474	0.005474			0.010726	0.010722	0.006075	0.006132

Tabla No. 5

Coefficientes del modelo logístico y respectivas probabilidades de presencia de heladas con rangos de comportamiento para cada una de las estaciones estudiadas, donde r , K y c son parámetros del modelo de simulación y pronóstico de presencia de heladas.

ESTACION	RANGO	r	K	c	PROBABILIDAD	%
HUAMANTLA	MINIMA	0.9470	28	-3.5879	0.255	25
	MEDIA	0.9859	73.53	-4.3889	0.444	45
	MAXIMA	0.4421	142	-2.7290	0.297	30
CUAPIAXTLA	MINIMA	1.5656	27	-4.6348	0.45	45
	MEDIA	1.1232	61.73	-4.9133	0.45	45
	MAXIMA	1.276	139	-5.0338	0.15	15
TLAXCO	MINIMA	1.7085	27	-8.7280	0.45	45
	MEDIA	1.2764	59.09	-5.2806	0.275	27
	MAXIMA	0.8204	112	-3.8202	0.275	27
ATLANGATEPEC	MINIMA	1.8776	78	-9.1452	0.190	19
	MEDIA	1.1672	108.67	-5.1956	0.523	52
	MAXIMA	1.1054	145	-5.6978	0.285	29
APIZACO	MINIMA	1.8746	55	-7.4963	0.545	54
	MEDIA	1.6689	65.38	-7.1986	0.272	27
	MAXIMA	1.0964	92	-4.9003	0.181	18
TLAXCALA	MINIMA	1.7805	15	-8.7280	0.380	38
	MEDIA	1.6080	41.17	-6.9146	0.333	33
	MAXIMA	1.1456	70	-4.2573	0.285	28
TEPEPITLA	MINIMA	1.4672	50	-5.9869	0.222	22
	MEDIA	0.8685	76.7	-4.2069	0.388	38
	MAXIMA	0.9064	127	-4.2343	0.388	38
ESPARITA	MINIMA	1.3292	29	-4.8469	0.444	44
	MEDIA	1.7572	33.62	-7.364	0.333	33
	MAXIMA	1.6852	63	-6.5131	0.222	22

2.- CALCULO DE BALANCES DE AGUA Y SEVERIDAD DE SEQUIAS.

Para el cálculo de los balances de agua y de la severidad de sequía se utilizó la información meteorológica de precipitación y temperatura media mensual de las principales estaciones meteorológicas del estado, utilizando los procedimientos de Palmer, Aguila (1992), Ritter et al (1991).

En la Tabla 6 se muestran las cantidades totales anuales del balance del agua de las zonas de estudio, en donde podemos observar lo siguiente: con respecto a la evapotranspiración los mayores valores se presentan en el Carmen y el menor en Españita, en el escurrimiento sucede lo contrario para ambas estaciones, en recarga y perdida total de agua en el suelo Zoquiapan presenta el mayor porcentaje y Españita el menor, (Jauregui et al., 1970).

De las tablas 7 a la 10 se observan los valores del índice de sequía de Palmer para las estaciones; de Tlaxco, Españita, Huamantla y el Carmen Tequexquitla. De estas tablas se deducen las siguientes observaciones:

1.- Para Tlaxco en un período analizado de 232 meses el 35% de éste lapso de tiempo presenta condiciones de sequía, de donde el 21% marcan tan sólo un inicio de sequía, el 11% corresponde a una sequía suave, un 2% de sequía moderada y un 1% de sequía severa.

2.- Para españita en un período analizado de 156 meses el 33% presenta condiciones de sequía, de donde un 15% se presenta como inicio de sequía, un 15% como sequía suave y un 3% como sequía moderada.

3.- Para Huamantla con un período analizado de 612 meses, el 27.4% presenta condiciones de sequía, siendo de un 11.43% clasificado como inicio de sequía, 13% de una sequía suave y el 3% restante como de sequía moderada.

4.- Para el Carmen Tequexquitla con un período analizado de 180 meses el 37% de éstos presenta condiciones de sequía, siendo un 25% como un inicio de sequía, un 11% de sequía suave y un 1% de sequía moderada.

En la Tabla 11 se señalan los meses y años en que se han presentado la máxima severidad de sequía para el período analizado

de las cuatro zonas de estudio, destacando la sequía observada en 1972 que se presentó en el Carmen Tequexquitla durante el mes de Septiembre con efectos más intensos que en Tlaxco donde se presentó su máximo valor en Octubre. Para el año de 1980 se presenta una sequía intensa en el mes de Julio para Españaíta y de intensidad similar en el Carmen Tequexquitla en el mes de Agosto. Otra sequía intensa se presentó en 1983 en el mes de Junio para Españaíta y Huamantla y un mes más tarde se presentó en Tlaxco con los máximos valores de severidad observado en todas las zonas y para todos los años analizados. En general, la sequías se presentan de preferencia en la segunda mitad del año (85%) para todas las regiones consideradas.

El análisis de la autocorrelación de los índices de sequía de Palmer para las cuatro zonas de estudio señalan periodicidades de cuatro años en Tlaxco y Huamantla, y de 3 años en el Carmen Tequexquitla, mientras que para Españaíta presenta un abastecimiento continuo de humedad sin ninguna ciclicidad en la presencia de sequías según lo señala su periodograma, figura (22).

De acuerdo al balance de agua resultante de los valores promedio mensuales para cada período de análisis de las seis estaciones climatológicas trabajadas se tienen las siguientes conclusiones:

1.- Españaíta presenta la mayor disponibilidad de agua para el suelo, debido a que la evapotranspiración que ocurre en este lugar es baja con respecto a la precipitación. El almacenamiento de agua en el suelo se da durante cuatro meses (Mayo a Agosto), perdiendose gran cantidad de agua por escurrimiento en ésta época por lo que en esta zona la vegetación juega un papel muy importante para prevenir problemas de erosión para ésta accidentada región.

2.- El Carmen Tequexquitla representa el caso contrario existiendo poca disponibilidad de agua para el suelo, ya que en éste lugar suelen presentarse altos valores de evapotranspiración. El almacenamiento de agua en el suelo se lleva a cabo de Abril a Septiembre (época en donde la precipitación excede en pequeña proporción a la evapotranspiración) habiendo un ligero escurrimiento en la zona. El prolongado período de almacenamiento puede ser un indicador de la presencia de agua en el subsuelo de éstas áridas regiones.

TABLA 6
BALANCE DE AGUA ANUAL PARA ALGUNAS ESTACIONES
CLIMATOLÓGICAS DEL ESTADO DE TLAXCALA.

ESTACION	P	=	ET	+	R	=	RO	-	L
TLAXCO	689.6		396		143		78.9		159
			87.3 X		24.24 X		11.4 X		23.4 X
HUAMANTLA	624.8		384.57		141.64		41.27		142.81
			93.4 X		22.7 X		6.6 X		22.8 X
ESPANITA	1101.1		629.14		157.67		471.97		158.81
			37.1 X		14.3 X		43.9 X		14.3 X
TEPETITLA	633.3		363.32		144.34		88.83		167.19
			86.5 X		23.4 X		13.3 X		23.6 X
ZOQUIAPAN	571.67		348		151.84		29.55		136.2
			94.4 X		26.6 X		5.1 X		26.2 X
EL CARNER	434		429.34		87.88		6.93		98.4
			78.9 X		28.2 X		1.6 X		28.9 X

DONDE: P = PRECIPITACION
 ET = EVAPOTRANSPIRACION REAL CALCULADA.
 R = RECARGA DE HUMEDAD
 RO = RECURRIMIENTO
 L = PERDIDA TOTAL DE HUMEDAD

TABLA 7

PERIODOS DE SEQUÍA PARA BLANCO. PERIODO DE ANÁLISIS 1971 - 1991

INICIO		FIN		MAYOR EXCESO DE DÍAS	NÚMERO DE MESES					TOTAL
AÑO	MESES	AÑO	MESES		EXCESO DE DÍAS	SOBRE DÍAS	SIN DÍAS	SOBRE DÍAS	TOTAL	
1971	12	1972	4	-1.18	4	18	0	0	0	14
1972	9	1973	3	-0.48	2	0	0	0	0	2
1973	9	1974	8	-3.38	7	9	4	2	0	24
1974	11	1975	1	-0.74	21	0	0	0	0	21
1975	6	1976	3	-1.35	12	6	0	0	0	18
TOTAL:					48	23	4	2	0	75
PORCENTAJE RELATIVO					11	12	5	2.5	0	100
PORCENTAJE DE 232 MESES					21	13	2	1	0	35

TABLA 8

PERIODOS DE SEQUÍA PARA NEGRO. PERIODO DE ANÁLISIS 1979 - 1991

INICIO		FIN		MAYOR EXCESO DE DÍAS	NÚMERO DE MESES					TOTAL
AÑO	MESES	AÑO	MESES		EXCESO DE DÍAS	SOBRE DÍAS	SIN DÍAS	SOBRE DÍAS	TOTAL	
1979	6	1980	10	-1.35	0	4	0	0	0	12
1980	8	1981	3	-2.16	3	1	0	0	0	12
1981	9	1978	2	-2.59	13	11	3	0	0	27
TOTAL:					26	23	4	0	0	51
PORCENTAJE RELATIVO					47	43	0	0	0	100
PORCENTAJE DE 156 MESES					15	15	1	0	0	33

TABLA 9

PERIODOS DE SEQUÍA PARA NEGRITA. PERIODO DE ANÁLISIS 1941 - 1991

INICIO		FIN		MAYOR EXCESO DE DÍAS	NÚMERO DE MESES					TOTAL
AÑO	MESES	AÑO	MESES		EXCESO DE DÍAS	SOBRE DÍAS	SIN DÍAS	SOBRE DÍAS	TOTAL	
1943	6	1951	5	-2.74	3	13	0	0	0	16
1951	6	1957	10	-1.88	2	2	0	0	0	2
1948	6	1948	6	-2.18	3	1	0	0	0	1
1941	3	1963	6	-2.74	5	15	0	0	0	20
1944	9	1963	7	-1.28	6	5	0	0	0	11
1948	6	1968	7	-1.27	1	1	0	0	0	2
1949	6	1967	7	-1.27	0	2	0	0	0	2
1970	4	1970	6	-2.13	3	2	0	0	0	5
1971	1	1972	5	-1.29	16	3	0	0	0	17
1982	9	1984	5	-2.14	10	9	2	0	0	21
1984	7	1990	1	-2.24	10	20	3	0	0	43
1988	3	1988	0	-1.27	1	1	0	0	0	1
TOTAL:					70	77	19	0	0	96
PORCENTAJE RELATIVO					42	46.4	12.5	0	0	100
PORCENTAJE DE 432 MESES					18.4	19	3	0	0	27.4

TABLA 10
 PERIODOS DE SEQUIA PARA EL CANTON TIQUICHUILA, PERIODO DE ANALISIS 1969-1983.

INICIO		FIN		MAYOR SEVERI DAD	MAYOR DIFER ENCIAL	NUMERO DE MESES				TOTAL
AÑO	MESES	AÑO	MESES			SHUVE DE	NOVIEN BRE	SENIEN BRE	OTROS MESES	
1969	5	1974	6	-2.42	14	17	2	0	0	33
1975	7	1976	3	-1.01	8	1	0	0	0	9
1977	7	1979	8	-0.82	13	0	0	0	0	13
1980	8	1988	12	-1.54	2	1	0	0	0	3
1982	9	1983	8	-0.69	4	0	0	0	0	4
TOTAL					45	19	2	0	0	66
PORCENTAJE RELATIVO					18	29	3	0	0	100
PORCENTAJE DE 100 MESES					25	11	1	0	0	37

TABLA 11

MES EN QUE SE HA PRESENTADO LA MAXIMA SEVE-
 RIDAD DE SEQUIA.

ESTACION	AÑO	MESES	MAXIMA SEVERIDAD
HUAMANTLA	1958	SEPTIEMBRE	-2.74
HUAMANTLA	1957	AGOSTO	-1.00
HUAMANTLA	1968	JUNIO	-1.14
HUAMANTLA	1962	JULIO	-2.74
HUAMANTLA	1963	JUNIO	-1.14
HUAMANTLA	1968	JULIO	-1.27
HUAMANTLA	1969	JULIO	-1.29
HUAMANTLA	1970	JUNIO	-1.65
HUAMANTLA	1971	MAYO	-1.39
HUAMANTLA	1983 =	JUNIO	-2.14
HUAMANTLA	1984	SEPTIEMBRE	-2.26
HUAMANTLA	1998	JUNIO	-1.07
ESPAÑITA	1988 =	JULIO	-1.59
ESPAÑITA	1983 =	JUNIO	-2.14
ESPAÑITA	1988	SEPTIEMBRE	-2.59
TLAXCO	1972 =	OCTUBRE	-1.58
TLAXCO	1983 =	JULIO	-3.38
TLAXCO	1989	OCTUBRE	-1.35
EL CARMEN	1972 =	SEPTIEMBRE	-2.42
EL CARMEN	1975	DICIEMBRE	-1.01
EL CARMEN	1988 =	AGOSTO	-1.54

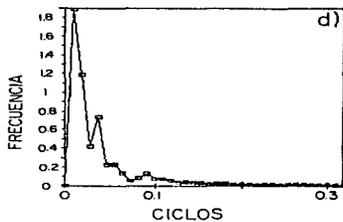
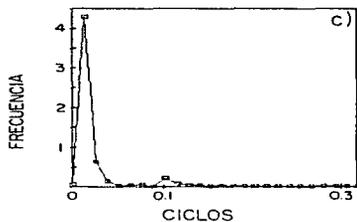
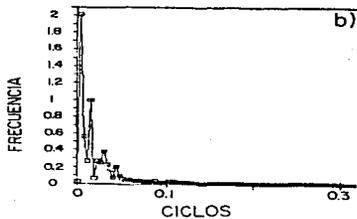
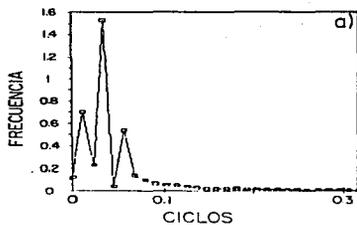


FIG. 22 PERIODOGRAMAS DE LOS VALORES DEL INDICE DE SEQUIA DE PALMER PARA: a) EL CARMEN TEQUXQUITLA, b) HUAMANTLA, c) ESPAÑA Y d) TLAXCO.

3.- Se presentan condiciones semejantes en evapotranspiración y escurrimiento para Tlaxco-Tepetitla y Zoquiapan-Huamantla.

4.- La diferencia entre la recarga y la pérdida total de agua que representan el próximo almacenamiento de agua, es similar para Tepetitla-Huamantla y Tlaxco-Zoquiapa.

Del índice de sequía de Palmer podemos decir que la sequía que se presentó durante el período de 1969 a 1974 fué más intensa y prolongada para el Carmen-Tequexquitla que para Huamantla, dentro de este período la sequía de 1971 a 1973 fué más intensa en Tlaxco que en Huamantla, y la de 1982 a 1984 que se observó en las cuatro zonas de estudio, se presentó el efecto más intenso en Tlaxco y el más leve en el Carmen. Este período se presenta como un inicio de sequía (sequía incipiente) representando el mayor porcentaje del resto de la clasificación en el Carmen y Tlaxco, el mismo evento en Españita y Huamantla es ligeramente menor que la clasificación de sequía suave.

La duración prolongada de éste período de sequía suave puede traer efectos negativos en la agricultura y vegetación local y posiblemente mayores a los de la presencia de una sequía intensa por períodos cortos de tiempo. Por otra parte, el grado que se ha presentado la sequía es diferente en cada una de las zonas de estudio (Tablas 7 a la 10). En Españita la máxima severidad ha sido de -2.59 y se observó de 1987 a 1990, con 13 meses como inicio de sequía, 11 meses de sequía suave y 3 de moderada. En Tlaxco ha sido de -3.30 para el período comprendido de 1982 a 1984 con nueve meses de inicio de sequía, nueve de sequía suave, cuatro de moderada y dos de severa. Huamantla con -2.74 para los períodos de 1949 a 1951 y de 1961 a 1963 con ocho meses de inicio de sequía, 30 meses de sequía suave y 14 de moderada, en el Carmen el máximo ha sido de -2.42 en el período de 1969 a 1974 con 4 meses de inicio de sequía, 17 de sequía suave y 2 de moderada.

Con lo anteriormente expuesto se puede deducir que los períodos tan prolongados de sequía leve en la zona pueden ser más determinantes en la agricultura que la misma presencia de sequías severas por períodos cortos de tiempo.

g) ANALISIS DE RESULTADOS DE LAS RELACIONES CLIMA-PRODUCCION.

Con el producto de las estimaciones del incremento individual y valores de sobrevivencia, se estimo el rendimiento poblacional de la carpa en cada grupo de edad, figuras (23,24) observándose que el máximo aporte de la población es a la edad de dos años, notándose por consiguiente que las capturas actuales sobre los grupos de un año representan apenas un 40% de la potencialidad de la zona. Siguiendo una estrategia de ejercer el mayor esfuerzo pesquero en los grupos de dos años, es decir, si se utilizarán artes de pesca que dejaran sobrevivir al grupo de primer año y capturar en forma más intensa el grupo de dos años, podrían incrementar en un 150% la producción en la zona. Cabe señalar que de seguir esta estrategia al inicio pudieran presentarse una baja en las capturas, pero al transcurrir un lapso corto de tiempo, esta baja se vería fuertemente compensada. Los resultados obtenidos en este estudio a través de metodologías de modelos matemáticos simples basados exclusivamente en la obtención de las longitudes y de su estructura de edades en las capturas, nos permite señalar los beneficios de su uso a obtener en el manejo y administración de los recursos pesqueros, principalmente en cuerpos de agua de embalses o lagunares que puede redundar en elevar el nivel de vida de los pescadores o incrementar el número de personas beneficiadas con este recurso, basados en el principio del rendimiento máximo sostenido, como se observa en los resultados de este estudio. Beneficios que serán sostenidos y permanentes y evitarán efectos nocivos debidos a situaciones aleatorias e impredecibles al continuar explotando los recursos sobre ninguna base científica. Del análisis de las relaciones clima-producción podemos observar que el efecto climático basados en la baja sobrevivencia y en la clara lectura de los cambios de estación manifestados en las escamas es de un efecto considerable por lo que este sistema al que inicialmente suponíamos de clima estable presenta efectos climaticos equivalente al de latitudes altas.

PASTIZALES. Con la derivación de las ecuaciones basadas en la relación de Sinko y Streifer (1976) donde se considera la densidad en función de la edad (t), la biomasa (m) y el factor climático limitante (a) que en este caso es el de la precipitación, se

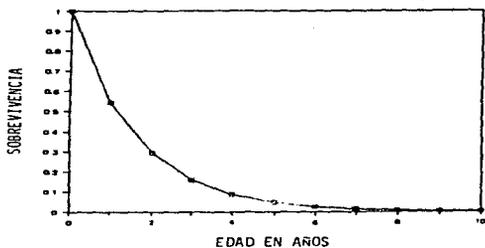


Fig. (23) Curva de sobrevivencia de la carpa (*cyprinus carpio*) para sus diferentes edades, estimada por el modelo de CHAPMAN y ROBSON para la Presa San José Atlangatepec, Tlax.

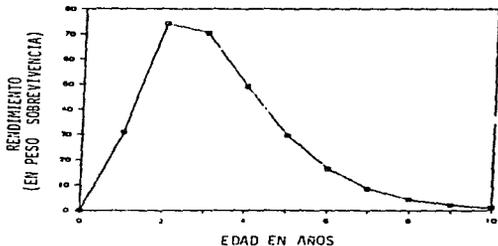


Fig. (24) Rendimiento poblacional (producto del incremento individual en peso por la sobrevivencia) para la pesca de la carpa (*Cyprinus carpio*) estimado para la Presa San José Atlangatepec, Tlax.

determinaron para las diferentes zonas de estudio (Adolfo López Mateos, Apizaco, Españaíta, Nopalucan, Tlacuilocan y Tlaxco) y las especies y variedades más abundantes, las respectivas rectas representativas de la relación biomasa acumulativa-precipitación acumulativa de la zona, así como las áreas de las elipses representativas de la relación promedio biomasa-precipitación, tanto para la temporada seca como para la de lluvia. En la tabla (12) se dan las principales especies y variedades de pastos observados en las diferentes zonas, crecimiento observado y el óptimo calculado para las respectivas precipitaciones observadas y las óptimas deseables en forma semanal, así como la producción total observada y la óptima calculada para una precipitación con abastecimiento uniforme. Se consideró que existe una precipitación semanal óptima uniformemente distribuida en la etapa de crecimiento para obtener el óptimo de crecimiento individual y producción total poblacional. Evidentemente y como es de esperarse en la época de secas se tiene un menor número de plantas por metro cuadrado y la precipitación promedio óptima para las condiciones microclimáticas existentes es menor a la temporada de lluvias y el porcentaje de incremento esperado respecto a lo observado tiende a ser mayor, así como por ejemplo para la región de López Mateos se esperan incrementos de un 72% en la época de secas y de solo un 22% en la temporada de lluvias.

La intercepción de la recta con su respectiva elipse, determina el punto de equilibrio, encontrándose que en Adolfo López Mateos con *Bouteloua gracilis*, en la temporada seca el punto de equilibrio óptimo se presenta en la sexta semana con 0.052 grms. de biomasa y 33 mm. de precipitación, mientras que en la época de lluvia se da en la semana 26 con 1.22 grms. y 130 mm. respectivamente. Para Apizaco con *Lolium perenne* los puntos de equilibrio son; en secas para la octava semana con 0.064 grms. y 22 mm. de precipitación, para la temporada de lluvias en la semana 23 con 1.5 grms. y 58 mm. respectivamente. En Españaíta con *Bouteloua gracilis* los puntos de equilibrio óptimos son; en secas para la séptima semana con 0.68 grms y 35mm, en la época de lluvias en la semana 26 con 1.44 grms. y 129 mm respectivamente. En Nopalucan para *Muhlenbergia porteri* los puntos de equilibrio son; para la época de

TABLA 12. Puntos de Equilibrio Óptimo de Producción Calculados y Observados en los diferentes pastizales y especies analizadas de diversas regiones.

REGION	ESPECIE	No. DE SEÑALES	TEMPO- RASA	CRUC.	CRUC.	FRACIP.	PRECIP.	DEV.	PRODUC.	PRODUC.	POSIBILI-
				FRON. SEM.	FRON. SEM.	FRON. SEM.	FRON. SEM.	SI- DAD SEM.	TOTAL SEM.	TOTAL SEM.	DADES DE INCREMENTO
				IND. OBSER. OPT.	(gr)	(mm)	(mm)		(Ton/haa)	(Ton/haa)	(%)
ADOLFO LOPEZ MATEOS	<i>Bouteloua gracilis</i>	6	SECAS	0.3	0.52	5.1	33	45	16,200	28,060	72
	<i>Bouteloua gracilis</i>	26	LUVIAS	1.0	1.22	94	130	129	154,800	158,856	72
APIZACO	<i>Lolium perenne</i>	8	SECAS	0.4	0.64	24.5	22	134	10,720	17,152	60
	<i>Lolium perenne</i>	23	LUVIAS	1.1	1.45	18.5	58	242	53,240	70,180	35
ESPARITA	<i>Bouteloua gracilis</i>	7	SECAS	0.4	0.68	5.1	35	59	21,240	36,108	70
	<i>Bouteloua gracilis</i>	26	LUVIAS	1.3	1.44	94	129	145	169,652	187,920	11
XOPALUCAN	<i>Muhlenbergia porteri</i>	15	SECAS	0.3	0.38	14.5	27	85	3,825	4,845	27
	<i>Muhlenbergia porteri</i>	26	LUVIAS	0.4	0.46	23.6	49	159	9,540	10,971	16
TLACUILLOH-CAN	<i>Bouteloua gracilis</i>	7	SECAS	0.4	0.64	2.0	28	52	16,640	26,624	60
	<i>Bouteloua gracilis</i>	13	LUVIAS	0.3	0.43	20.0	52	76	18,240	26,144	43
TLATECO	<i>Muhlenbergia porteri</i>	8	SECAS	0.2	0.3	7.2	14	59	19,470	29,205	50
	<i>Muhlenbergia porteri</i>	26	LUVIAS	0.8	0.86	38.6	148	141	186,120	200,079	8

secas en la quinceava semana con 0.38 grms. y 27 mm en la época de lluvias para la semana 26 con 0.46 grms. y 49mm respectivamente. En Tlacuilocan con *Bouteloua gracilis* los puntos de equilibrio se dan en temporada de secas en la septima semana con 0.64 grms. y 28mm. en la época de lluvias para la semana 13 con 0.43 grms. y 52mm respectivamente. En Tlaxco con *Muhlenbergia porteri* los puntos de equilibrio se manifiestan en la 8va. semana para la época de secas con 0.30grms. y 14mm. de precipitación y para la época de lluvias en la semana 26 con 0.86grms. y 49mm.

En la tabla (13) se dan los valores de eficiencia considerada como la biomasa producida en grms. por cada mm de precipitación observada. Sorprendentemente las diferentes zonas y especies para la temporada de secas y de lluvias presentan una misma eficiencia de 0.01grms. por mm. con excepción de Apizaco que es un pastizal inducido sin limitantes de agua y nutrientes, que presenta una eficiencia de 0.038grms. por mm. lo que significa una diferencia de un 300% respecto a las zonas naturales restantes de crecimiento.

BOSQUES. Para el cálculo del rendimiento máximo sostenido en biomasa en metros cubicos del pino en función de la razón de explotación $H(\%)$, observamos una alta fluctuación en el grosor de los anillos y en los correspondientes volúmenes de incremento anual en la biomasa debida a la variación climática, para condiciones benevolas, el rendimiento máximo sostenido y valores de H de 0.6 se tienen rendimientos de 2900 metros cubicos y para situaciones adversas con valores de H de 0.4 se obtienen rendimientos máximos de 440 metros cubicos, con un valor de rendimiento promedio de 1943 metros cubicos.

Podemos deducir de los anteriores resultados que para hacer una administración científica de este recurso debemos reconocer que el factor climático es determinante en los tamaños de la cuota a utilizar a fin de hacer un uso óptimo de él, por lo que es necesario obtener la información climática en tiempo real a fin de deducir de esta como elemento auxiliar el monto de explotación recomendable. Así también debemos definir las metas de la estructura del rodal y al proceso de conversión de las estructuras actuales hacia esas metas por medio de una silvicultura experimental con bases ecológicas sólidas, reconociendo el carácter

único de cada situación forestal. El momento de la cosecha se determina no tanto en base a la edad o diámetro de arbolado, sino por su vigor y perspectivas de futuro crecimiento. La cosecha debe programarse con base a su edad pero incluyendo también su situación sanitaria, inventario de existencias, metas de regulación y accesibilidad.

PRONOSTICO DE COSECHAS DE MAIZ.- En la figura (25) se presenta las isoclinas de pronóstico de cosecha de maíz (derivado de nuestro modelo simple de radiación) comparado con los valores usualmente observados. Obsérvese que existe una amplia zona en que el pronóstico es acertado y por la figura (26), podemos notar que las zonas en que el modelo no dio buenos resultados coincide con altitudes mayores a los 2500 metros. Es de poder verse que el modelo necesita un ajuste para este tipo de situaciones.

En la figura (27) se da la capacidad de sostén por hectárea, deducida de nuestro modelo de transferencia energética así como su eficiencia de conversión observada en la figura (28).

h) ESTABILIDAD PRODUCTIVA Y ESTRESAMIENTO CLIMATICO EN AGROECOSISTEMAS LOCALES. La globalización significa complejidad y ésta es necesaria para la vida, ya que las correlaciones entre los constituyentes individuales y diversificaciones del sistema natural, le permiten ser más flexible, adaptarse a los cambios del ambiente y tener una mayor probabilidad de sobrevivir, por otro lado la especialización o simplificación implica inestabilidad, menores defensas, degradación, pobreza de variabilidad interna y mayor vulnerabilidad. Un ecosistema resulta más estable al aumentar su complejidad o con un mayor número de interconexiones entre los posibles niveles alimenticios así como con un incremento tanto de su biomasa o de el número de especies de la comunidad. Se sabe que los procesos biológicos de interacción son altamente no lineales, por lo que se dificulta seriamente la solución de las expresiones matemáticas de su dinámica de comportamiento. Con este propósito en este capítulo utilizaremos algunas técnicas estadísticas, usandolas para obtener posibles condiciones de equilibrio (capacidad de sostén y de respuesta) de los diferentes ecosistemas en el estado de Tlaxcala, a partir de las relaciones observadas precipitación-producción y extrapolandolas para todos los años en

- 1.- Más de 1 200 Kg / Ha.
- 2.- De 1 000 a 1 200 Kg / Ha.
- 3.- De 800 a 1 100 Kg / Ha.
- 4.- De 600 a 800 Kg / Ha.
- 5.- De 400 a 600 Kg / Ha.
- 6.- De 200 a 400 Kg / Ha.
- 7.- Menos de 200 Kg / Ha.

— Prondstico
 - - - - - Observado
 ····· Prondstico acertado

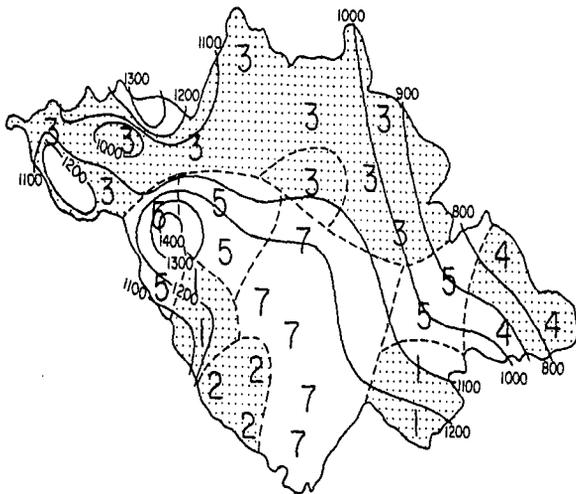
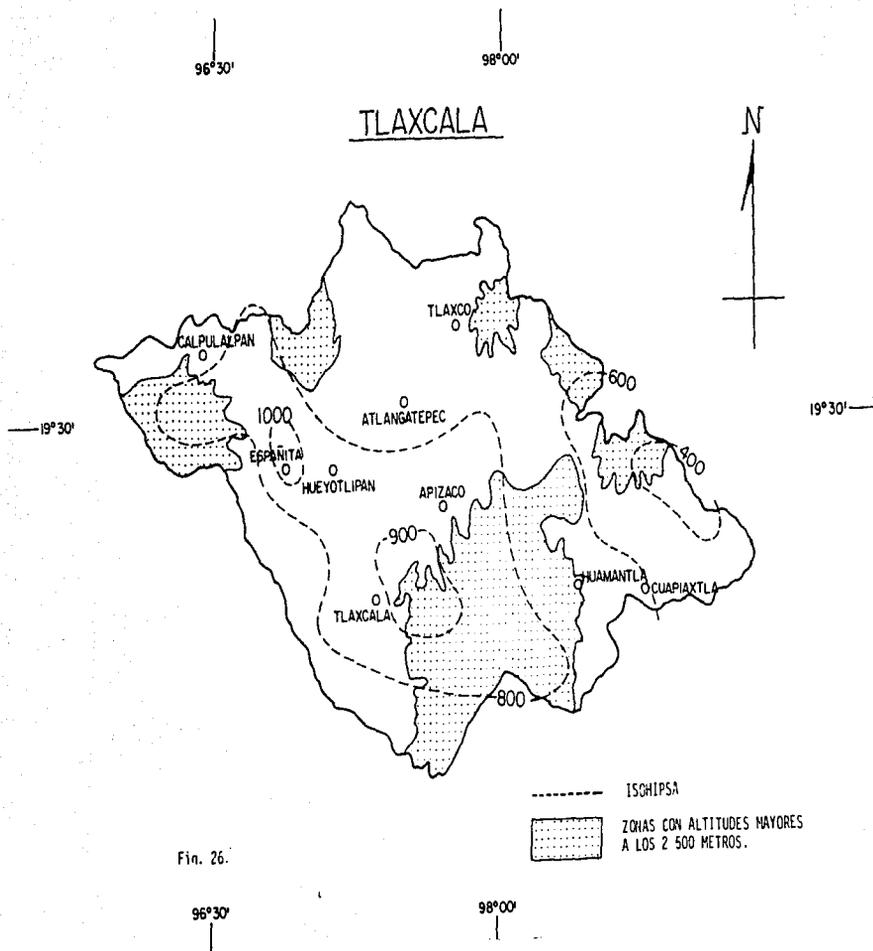


FIGURA 25. Producción agrícola total por zonas de similitud productiva y su pronostico (maiz).



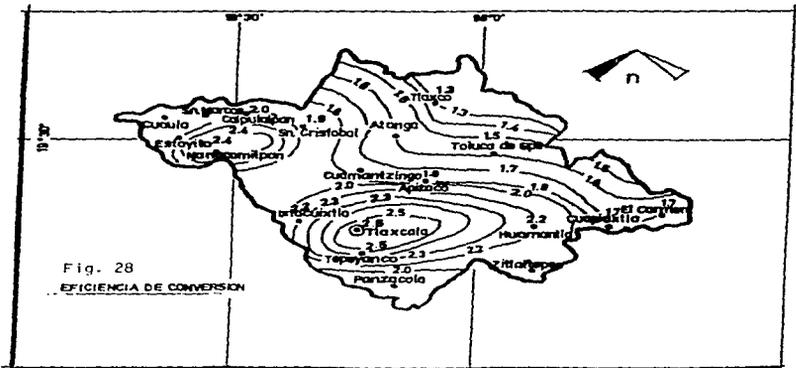
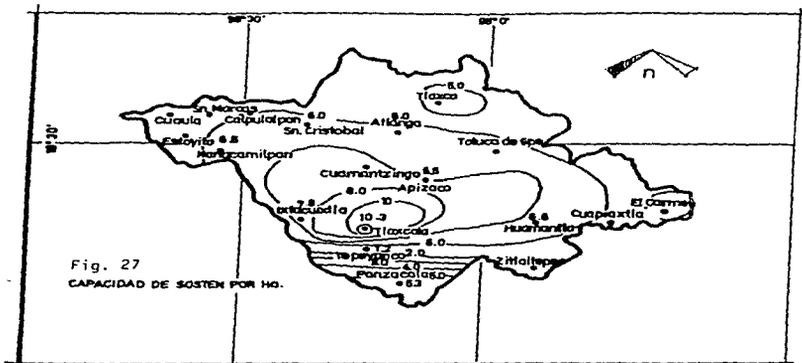


TABLA 14. Producción primaria anual histórica calculada a partir de la precipitación pluvial B, en $gr/m^2/año$, capacidad de sosten K_c , en $gr/m^2/año$ y razón de crecimiento efectivo, en años.

Estaciones	B			K_c			r		
	Min	Máx	Prom	Min	Máx	Prom	Min	Máx	Prom
Achichapa	1033	1364	1224	1080	1300	1206	-0.81	2.25*	0.56
Apizaco	959	1553	1234	1050	1360	1239	-2.86	2.40*	0.11
Atlangatepec	863	1394	1071	930	1220	1018	-1.80	3.30*	0.08
Calpulalpan	938	1274	1101	975	1195	1110	-2.50	2.66*	0.22
Cuapixtlá	548	1300	989	810	1248	983	-2.10	2.70*	0.13
Cuauila	918	1237	1085	1000	1215	1100	-1.96	1.96	-0.19
Españita	1103	1829	1464	1295	1750	1449	-0.76	1.46	0.49
Huamantla	636	1321	1006	790	1235	1015	-4.70	4.70*	0.15
Hueyotlipán	920	1475	1255	980	1405	1248	-2.25	4.70*	0.28
Ixtacuxtla	600	1271	1039	750	1260	984	-2.95	2.66*	0.18
San Marcos	903	1390	1093	980	1215	1100	-1.07	1.55	0.07
Tepetitla	774	1475	1064	850	1300	1044	-1.84	1.01	-0.32
Tlaxcala	901	1596	1287	1035	1450	1264	-2.40	2.40*	-0.14
Tlaxco	804	1613	1080	850	1410	1087	-3.35	3.35*	0.33
Zombrito	1071	1626	1278	1134	1450	1255	-2.10	1.96	0.00
Zoquiapan	923	1228	1023	955	1150	1020	-1.64	0.78	-0.25

TABLA 15. Dinámica del comportamiento (%) de la estabilidad y sensibilidad de respuesta (S.R.) en diferentes ecosistemas de Tlaxcala.

Estaciones	Inestable	Inestable	Estable	Estable	S.R.	Periodo
	Asintótico	Oscilatorio	Asintótico	Oscilatorio		
Apizaco	19	32	23	26	0.55	1952-1985
Atlangatepec	32	24	24	20	0.64	1960-1986
Calpulalpan	33	14	20	33	0.61	1969-1985
Cuapixtlá	20	30	25	25	0.61	1963-1985, 1987
Cuauila	17	33	50	-	0.57	1967-1980
Huamantla	35	22	30	13	0.57	1952-1985
Hueyotlipán	30	14	26	30	0.56	1961-1984
San Marcos	27	7	33	33	0.59	1967-1983
Tlaxcala	20	30	40	10	0.61	1962-1983
Tlaxco	30	30	25	15	0.47	1948-1984

n.i./n.a. = Intersecciones al punto de equilibrio (c) / Número de años

que exista la información de lluvia. En la tablas (14 y 15) se da la producción primaria anual calculada a partir de la precipitación, la capacidad de sostén y la razón de crecimiento en sus valores máximos, mínimos y promedio, para 16 localidades del estado de Tlaxcala. Observese que en diez de las localidades el valor de r máximo es mayor de dos por lo que es de esperarse que se presenten en estas zonas una dinámica de comportamiento caótico. La dinámica de la estabilidad y sensibilidad de respuesta para diez localidades del estado de Tlaxcala en porcentaje presenta un sistema en equilibrio con valores fluctuando alrededor de su capacidad de sostén, observándose que estas se dan porque las tasas de mortalidad y natalidad son diferentes y variables además de que existe un ambiente estocástico que esta influyendo sobre estos valores.

DISCUSION DE RESULTADOS

Cada vez un mayor numero de científicos perciben que un nuevo paradigma está tomando forma, y esto puede afirmarse no sólo a nivel de los fenómenos macroscópicos, sino también a nivel microscópico y en la vasta escala de la moderna cosmología.

Uno de los logros más destacados de la filosofía de la ciencia es la aceptación del hecho de que las teorías científicas no son otra cosa que modelos conceptuales destinados a ordenar los datos que en un momento determinado se tienen acerca de la realidad. Son solo aproximaciones útiles a la realidad; no deben ser confundidos con una descripción correcta de la realidad misma. Confundirlas representa una violación al pensamiento científico. Dado que siempre es posible formular más de una teoría que dé cuenta de los datos disponibles, el problema consiste en hallar una que sea lo bastante amplia para incorporar las premisas básicas de la filosofía.

En los últimos 300 años, la ciencia ha estado dominada por el paradigma cartesiano-newtoniano, donde las disciplinas científicas describen al universo como un sistema mecánico de infinita complejidad en el que interactúan particulas aisladas y objetos separados. Donde la materia es algo sólido, inerte, pasiva e inconciente. La vida, la conciencia y la inteligencia creadora son accidentes no significativos derivados del desarrollo de la materia, que emergieron luego de que ésta evolucionara, durante millones de años en forma mecánica y aleatoria, y sólo en una porción insignificante de un universo inmenso. La descripción del mundo de Newton es rigurosamente determinista; en ella el futuro y el pasado pueden construirse, si se proporciona suficiente información. Una vez dada las condiciones en cualquier coordenada del espacio-tiempo, puede calcularse toda la historia y el futuro del universo. Se carece inherentemente de la capacidad de explicar muchas clases de procesos irreversibles. Este universo se asemeja a una gigantesca supermáquina gobernada por cadenas lineales de causas y efectos y es estrictamente determinista, donde una de las piedras angulares es la premisa de que si conociéramos todos los factores que operan en el presente podríamos reconstruir con

exactitud cualquier situación del pasado o predecir cualquier suceso del futuro; lo cual no puede ser demostrado científicamente y la misma complejidad del universo impide su verificación práctica. El modelo mecanicista del universo tuvo tanto éxito en sus aplicaciones tecnológico prácticas, que pasó a ser el prototipo ideal del pensamiento científico. Pese a su gran prestigio el paradigma mecanicista, se ha convertido en un verdadero obstáculo que impide seriamente una mayor evolución del saber humano. El desarrollo de la física del siglo veinte ha puesto en tela de juicio y trascendido cada uno de los postulados del modelo newtoniano-cartesiano. Sorprendentes exploraciones del macro y el micromundo han creado una imagen de la realidad que es enteramente distinta de la ciencia mecanicista. La relatividad general substituye a la física newtoniana a una escala cosmológica, pero en el reino de las partículas elementales, átomos y moléculas, la teoría cuántica es la que la substituye.

El mundo cuántico y el relativista están llenos de problemas y paradojas. Boltzmann había sido precursor de un marco de la mecánica estadística para sustentar la termodinámica, basándose en la existencia de átomos y moléculas. La ecuación de Schroedinger se acepta como base de una mecánica nueva, fundamental, en la cual la interpretación de Born significaba que en lugar de predecir exactamente los fenómenos a nivel atómico o subatómico solamente podemos hablar de probabilidades de que ocurran. La interpretación de la función de onda comúnmente aceptada mina el concepto de causalidad, la noción con siglos de antigüedad que unía la causa al efecto. Nuestra descripción del mundo microscópico se ve trabada por la parquedad de nuestro lenguaje. El mundo que observamos parece independientemente real pero sin embargo, está suspendido sobre un mundo microscópico irreal. De la interpretación de la mecánica cuántica, existe un número infinito de posibles resultados de los cuales justamente uno se hace realidad cuando estalla, la función de onda. Cuando ocurre el colapso de la función de onda, todas las muchas posibilidades se reducen a un único suceso real. La función de onda se colapsa en la observación. La visión de Einstein de una realidad determinista plenamente descrita por la ciencia es una quimera engañosa provocada por nuestro punto de vista basado en el sentido común. El mundo de las substancias fué

reemplazado por el de los procesos, los sucesos y las relaciones. La materia sólida desapareció y quedó; la actividad, la forma, el orden abstracto y la pauta. El universo de la física moderna no es un mecanismo de relojería, sino una red unificada de sucesos y relaciones. Es posible así observar analogías, desplazamientos y correspondencias que vinculan el ámbito de la explicación biológica con la de la explicación de lo social. Actualmente la biología ya no es un modelo físico en el sentido de la antigua mecánica, inspirada en el modelo termodinámico y en la teoría de la información, toma de la tecnología sus modelos de explicación de las funciones del organismo. Después de inspirarse en la mecánica, física y química, basadas en modelos geométricos, toma ahora elementos de la teoría de la información. La física y la biología evolucionista tienden desde su inicio a engendrar una fuerte impresión de universalidad.

La visión cuantico-relativista formula las críticas más convincentes y radicales a la cosmovisión mecanicista, pero también otras ciencias han inspirado importantes revisiones, sobre todo por los avances de la cibernética, la teoría de la información, la teoría general de sistemas y la teoría de los tipos lógicos.

Complementariedad, es aquel orden que supone que las partes encajan en un todo y que el todo requiere de las partes. El cosmos evoluciona según leyes que son válidas universalmente y que por lo tanto generan una armonía universal. Existe un orden en la creación donde el mundo de la materia y el de la vida están gobernados por las mismas leyes universales aunque el común de los mortales sólo puede percibir la creación bajo la forma de sistemas restringidos.

Las nuevas ciencias de los sistemas fuera del estado de equilibrio dan una visión nueva de la naturaleza de la realidad, donde el hombre y la sociedad forman parte de la evolución. Estos sistemas se desenvuelven tanto en el mundo físico como el biológico y el humano. La manera en que los sistemas dinámicos responden a los cambios desestabilizadores de su medio es de la mayor importancia para entender la dinámica de la evolución en los diversos dominios en la naturaleza. Es imperativo que el planeta tierra sea considerado como una unidad por parte de estadistas, tecnólogos, biólogos y sociólogos y sea administrado como un sistema ecológico integrado.

La cultura y la sociedad se han desarrollado en un período de

absoluta estabilidad climática, sin embargo esto ya no es más cierto y el problema está ligado, desde sus raíces. Los estudios para prevenir los efectos causados en el clima por las actividades humanas será de gran prioridad nacional en los próximos decenios por lo que se concluye en la necesidad de una gran cosecha de datos y conocimientos al respecto. En el campo de los impactos humanos sobre el clima hemos aprendido bastante para izar las banderas de peligro pero no lo suficiente para cuantificarlo adecuadamente. Desde el punto de vista socio-económico el problema fundamental es el incremento del anhídrido carbónico cuyos efectos en el clima, ecosistemas y agricultura serían causados por el deshielo de los polos y la desertificación. Si la tendencia actual al consumo de las energías fósiles no renovables continúa, la cantidad de anhídrido carbónico en la atmósfera terrestre se duplicaría en menos de 50 años. Un aumento de tal magnitud puede producir efectos de invernadero y el consiguiente aumento de la temperatura global y tales variaciones de temperatura, tendrían la misma importancia del observado en la presencia de las épocas geológicas, perturbando el equilibrio ecológico de ecosistemas y la producción mundial de alimentos. La ruptura de los equilibrios biológicos está induciendo variaciones planetarias en tiempos tan cortos que aceleran el reloj geológico. Transformaciones que antes acontecían en millones de años, pueden ahora ocurrir tan solo en decenas.

La pérdida de diversidad, aumento de entropía y super especialización significan así mismo pérdida de la cultura interdisciplinaria y fragmentación del saber.

Los estudios geológicos, meteorológicos, ecológicos, oceanográficos y biológicos en general, han hecho ahora evidente, con gran claridad que la vida de cada organismo en particular es parte de un proceso a gran escala que involucra el metabolismo de todo el planeta. La actividad biológica es una propiedad planetaria, una continua interacción de atmósfera, océanos, plantas, animales, microorganismos, moléculas, energía y materia que forman un todo global. El papel de cada uno de estos componentes es esencial para el mantenimiento de la vida. El ambiente y los organismos vivientes están ligados entre sí, y son inseparables de una única unidad de procesos planetarios. Todos los seres vivos crean microambitos que enriquecen la diversidad de la superficie de

la tierra. Muchos de los cambios provocados por la interacción que se da entre una especie y su medio ambiente total resultan a largo plazo beneficiosos para ambos, pero esta interdependencia no es estática ya que el cambio que sufre el medio ambiente requiere que los seres vivos cambien para continuar siendo compatibles con las condiciones ambientales. La diversidad responde en gran medida a los procesos de adaptación que surgen cuando el orden natural de las cosas se altera por alguna causa o accidente, de ahí la adaptabilidad, elasticidad y riqueza de la vida humana. Dependemos de la tierra no tan sólo en cuanto a nutrición y cobijo, sino también porque la especie humana ha sido configurada por ella en las entrañas de la evolución y condicionado por los estímulos de la naturaleza durante su existencia. La naturaleza humana está conformada biológica y mentalmente por la naturaleza externa. El hombre al manipular el mundo que le rodea pone en movimiento fuerzas que conforman su medio ambiente, su vida y sus civilizaciones. En este sentido el hombre se hace así mismo y la calidad de sus logros refleja sus sueños y sus aspiraciones. La tierra y el hombre son dos componentes complementarios de un sistema cibernético, donde cada uno modifica al otro en un continuo acto de creación. Cada día es más común y frecuente expresar manifestaciones de relación entre diferentes ramas de la ciencia, por lo que en la actualidad para hablar de desarrollo regional debemos saber expresarnos indistintamente como; agrónomos, geógrafos, biólogos, urbanistas, climatólogos, sociólogos, etc.

Ecología es lo mismo que termodinámica, y tanto las leyes termodinámicas en la física como en la biología reinan de manera suprema y absoluta. La concepción de entropía debe considerarse como la más grande contribución del siglo XIX al pensamiento científico. Así también por el hecho de que el progreso tecnológico va en dirección opuesta al progreso social y biológico, la historia de nuestra época está caracterizada por la incertidumbre por lo que la información asume un papel fundamental y se convierte en recurso primario. El análisis de los procesos productivos no puede prescindir de los conocimientos termodinámicos y biológicos. Así también los problemas se deben abordar en su totalidad, es decir; económica, política, social, biológica, ambiental y termodinámicamente. Es necesario recrear las condiciones para una

recomposición de la unidad de la ciencia, favoreciendo la investigación interdisciplinaria y el intercambio entre cultura científica y humanística. Cuanto más se especializa y se profundizan los conocimientos en un determinado campo, tanto más se corre el peligro de equivocarse, porque llegan a faltar las correlaciones entre los varios sistemas y las varias ciencias. Cuanto más distancia exista entre las ciencias, tanto más se corre el riesgo de equivocarse por superficialidad. La realidad natural obedece a leyes diferentes a las económicas; cuanto más rápidamente se consumen los recursos y la energía disponible, tanto menor es el tiempo que queda para nuestra supervivencia. Cuanto más aceleramos el flujo de energía y materia a través del sistema tierra, tanto más acortamos el tiempo real de nuestra especie. Es necesario invertir cuanto antes el rumbo y enfrentarse con una nueva cultura del desarrollo. La que tiene una gran necesidad de la biología, de la termodinámica y de las relaciones fundamentales de estas dos ciencias con la economía, con la vida social y con los procesos productivos. El punto fundamental es que el crecimiento debe detenerse: el de la población, desertificación, gastos energéticos, consumismo, contaminación y alteraciones climáticas. Las interacciones entre ecosistema, sistema productivo y sistema económico, llevan a la interdependencia de las crisis de los tres sistemas.

No podemos prever qué aspecto ofreciera nuestra tierra después de esta fase de transición. Sin embargo está claro que la ciencia será cada día más importante para nuestros esfuerzos por afrontar los retos que se nos plantean en cuanto a la comprensión y modificación de la totalidad de nuestro entorno. Ya para finales de siglo se aumenta el número de los que creen que muchos de los procesos fundamentales que estructuran la naturaleza, son irreversibles y estocásticos; que las leyes deterministas y reversibles por consiguiente no contienen toda la verdad. Esto nos lleva a una nueva imagen diferente a la concepción mecánica del mundo. Este cambio es tan fundamental que podemos hablar de un nuevo diálogo entre hombre y naturaleza.

Debemos discutir en el futuro las posibilidades de integración del concepto de información en la descripción de los sistemas dinámicos. Se han destacado dos disciplinas que han modificado la

visión de lo complejo. El descubrimiento en la física de los estados de no equilibrio, de nuevas propiedades fundamentales y el descubrimiento central de las inestabilidades en la teoría moderna de los sistemas dinámicos. Lo cual nos conduce a una mejor comprensión del entorno en que vivimos y con lo cual cumplimos con nuestro primer objetivo de esta tesis.

La mayoría de los modelos en biología como el modelo logístico aquí utilizado son modelos dinámicos, lo cual significa que al resolverlos estamos encontrando sus valores en diferentes tiempos basados en sus condiciones iniciales. El proceso de resolver estos modelos significa combinar las herramientas matemáticas con el análisis y simulación computacional. Una de estas herramientas matemáticas a utilizar será el "Análisis de estabilidad local" donde se determina si existen "Puntos de equilibrio estable" al cual muchas soluciones convergen y que nos permiten entender el comportamiento asintótico de las soluciones para tiempos lo suficientemente largos, con lo cual no tan solo podremos determinar cuando un equilibrio es estable sino también como será el comportamiento de las soluciones en la vecindad del equilibrio. La estabilidad asintótica, es una de las demostraciones más impresionantes del papel constructivo que juega la irreversibilidad en la naturaleza. La complejidad no se puede referir a un principio de optimización universal, sino más bien a que en su dinámica de formación la naturaleza adopta un comportamiento pragmático en el que en el proceso de la búsqueda se juega un papel fundamental.

El algebra lineal nos ofrece por otra parte una extensión a los problemas de muchas variables, desgraciadamente éstas están restringidas a las ecuaciones lineales ya que a menudo no existen análogos de las herramientas no lineales utilizadas para una sola variable. Más tiempo deberá dedicarse en el futuro a la solución de estos aspectos. Grandes posibilidades existen también con estos modelos en los procesos bidimensionales de mesoescala y condiciones topoclimáticas para la simulación y pronóstico espacio temporal de la lluvia, donde el concepto de parches probabilísticos jugarán un papel fundamental. La transición hacia la complejidad está estrechamente relacionada con la bifurcación de nuevas ramas de solución, apareciendo como consecuencia de la inestabilidad de un estado de referencia que está generado por las no linealidades y

las imposiciones que actúan sobre un sistema abierto. La bifurcación representa una fuente de innovación y diversificación dado que dota a los sistemas de un nuevo tipo de soluciones. Actualmente buscamos otra perspectiva básica del mundo; "El mundo como organización". Si tal concepción puede sustentarse, cambiarán verdaderamente las categorías básicas sobre las que descansa el pensamiento científico e influiría profundamente en las actitudes prácticas. Esta tendencia se manifiesta ya con el nacimiento de un conjunto de nuevas disciplinas, como la cibernética, teoría de la información, teoría general de sistemas, teoría de juegos, teoría de decisiones, teoría de colas, teoría de caos, sistemas complejos, etc. Seremos testigos de una revolución en las ciencias matemáticas y físicas que nos obligaran a adoptar una postura completamente nueva para la descripción de la naturaleza. Sistemas convencionales, como una capa de fluido, pueden dar lugar bajo determinadas condiciones a fenómenos de "autoorganización" de dimensiones macroscópicas en formas de estructuras espaciales o de ritmos temporales. El comportamiento complejo ya no estará limitado exclusivamente al campo de la biología sino también en la física y aparecera profundamente enraizado en las leyes de la naturaleza.

BIBLIOGRAFIA

1. ADEM, J. (1964). On the physical basis for the numerical prediction of monthly and seasonal temperature in the troposphere-ocean-continent system. *Mon. Wea. Rev.* 92, 91-104.
2. ADEM, J. (1965). Experiments aiming at monthly and seasonal numerical weather prediction. *Mon. Wea. Rev.* 93, 495-503.
3. ADEM, J. (1970). On the prediction of mean monthly ocean temperature. *Tellus*, 22, 410-430.
4. ADEM, J. (1991). Review of the development and applications of the Adem Thermodynamic climate model. *Climatic dynamics*, 5, 145-160.
5. ADEM, J. (1974). A critical appraisal of simple climatic models. In: *The physical basis of climate and climate modelling. Report of the international study conference I Stockholm Garp Publications series No. 16, April 1975.* pp. 163-170.
6. AGUILA, Z. S. (1992). Estimación del balance de agua y grado de sequía para algunas regiones del Estado de Tlaxcala. Tesis de Licenciatura en Biología Agropecuaria. U.A.T.
7. ARNHEIM, R. (1971). *Entropy and Art. An Essay on Disorder and Order.* Berkeley: University of California Press.
8. ASHBY, W. R. (1972). *Introducción a la Cibernética.* Buenos Aires: Ediciones Nueva Visión.
9. ASIMOV, I. (1972). *Life and Energy.* New York: Avon Books.
10. AYALA, F. C. (1987). *La Naturaleza inacabada.* Biblioteca Científica, Salvat, Barcelona, España.
11. BARTENIEFF, Irmgard (1980) *Body Movement: Copying with the Environment.* New York: Gordon and Breach.
12. BERTALANFY, L. (1964). *Problems of Life.* New York: Braziller (London, Allen Lane, 1972)
13. BERTALANFY, L. (1933). *Modern Theories of Development.* New York: Oxford University Press.
14. BERTALANFY, L. (1968). *Teoría General de Sistemas.* Harper Torch.
15. BEVERTON, R. J. H. y S. J. Holt (1956). *Mortality Rates and Sources of Bias in Catch sampling: 81-83 Misc. Cont. No. 2* U. K. Fishery.
16. BILLINGS, W. D. (1978) *Plants and the Ecosystem.* Wadsworth Publishing Company, U.S.A., 177 p.
17. BLUM, H. F. (1951) *Time's Arrow and Evolution.* New Jersey: Princeton University Press.
18. BOHM, David (1980). *Wholeness and the Implicate Order.* London: Routledge & Kegan Paul.
19. BOHM, D. and PEAT, D. F. (1987). *Science, Order and Creativity.* Bantam Books, New York.
20. BOULLDING, Kenneth E. (1968). *Beyond Economics.* Ann Arbor: University of Michigan Press.
21. BUCKE, Richards (1969). *Cosmic Consciousness.* New York: Dutton.
22. BUDYKO, M-I (1974) *Climate and Life.* Academic Press, U.S.A., 508 p.
23. CAPRA, Fritjof (1975). *The Tao of Physics.* Berkeley: Shambala. (London: Wildwood House, 1975).
24. CAPRA, Fritjof (1979) *Quark Physics Without Quarks: A Review of Recent Developments in S-Matrix Theory.* *American Journal of Physics.* January.
25. CARSTEN, b. (1987). *La Vida un Estado Intermedio.* Biblioteca Científica Salvat Barcelona España.
26. CESARMAN, E. (1984). *Hombre y Entropía.* Ed. Gernika, 401 p.
27. CHAPMAN, D. G. y D. S. ROBSON (1960). *Biometrics. The Analysis of catch curve.* September, U.S.A.: 354-368.
28. COOK, Earl (1971). *The Flow of Energy in an Industrial Society.* *Scientific American,* September.
29. CRUZ, T. M., O. W. RITTER y P. M. MORENO (1989). *Procedimientos de Evaluación Cuantitativa de los Recursos Naturales.* Universidad Autónoma de Guerrero. México, 122 p.

30. CURRY, R. B. , C. H. BAKER and J. G. STRECKER (1975). Soymod I: A Dynamic Simulator of Soybean Growth and Development. *Transactions of the Asae* 18: 963-968.
31. DAJUZ, R. (1974). *Dynamique des populations*. Paris, Masson et cie.
32. DORANTES, W. M. A. (1992) Pronóstico de Heladas y Posibles Medidas de Protección en Cullfos para el Estado de Tlaxcala. Tesis de Licenciatura en Biología Agropecuaria. U. A. T.
33. DUBOGS, René (1965) *Man adapting*. New Haven. Yale University Press.
34. ELTON. (1942). *Volets, Mice and Lemmings: Problems in Population dynamics*. Oxford. Oxford University Press.
35. FELLER, (1952) The parabolic differential equations and the associated semigroups of transformations. *Ann. of Math.* 55, 468-519.
36. FIFKIN, Jeremy (1980). *Entropy*. New York: Viking.
37. FORRESTER, Jay W. (1971). *World Dynamics*. Cambridge, Mass. Wright Allen.
38. GABRIEL, K. R. and NEUMANN (1962). A Markov Chain Model for Daily Rainfall Occurrence in Tel-Aviv. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 88, 90-95.
39. GALINDO ET AL., (1991). Satellite derived irradiance over México. *Atmósfera*, 4, No. 3, 189-201.
40. GARBBER, Daniel (1978). *Science and Certainty in Descartes*. In Hooker. Michael, Ed. Descartes. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
41. GARCIA, E., R. VIDAL M. TAMAYO, T. REYNA, R. SANCHEZ, M. SOTO AND E. SOTO (1973). Precipitación en la República Mexicana y Evaluación de su probabilidad. Instituto de Geografía, UNAM y Comisión de Estudios del Territorio Nacional. Serie Climas. DETENAL 118
42. GATES, D. M. (1960). *Energy Exchange in the Biosphere*. Harper and Row, New York.
43. GATES, D. M. (1965). *Energy Plants and Ecology*. *Ecology* 45 (1,2) 1-13.
44. GEIGER, R. (1969). *The Climate Near the Ground*. Harvard University Press, Mass.
45. GEORGESCOU-ROENGEN, Nicholas (1971). *The Entropy Law and the Economic Process*. Cambridge, Mass Harvard University Press.
46. GOUDRIAUX, J. & VAN LAAR (1978). Calculation of daily total of the Gross CO₂ Assimilation of leaf Canopies. *Neth. J. agric. Sci.* 26, 373-382.
47. GREEN, Elmer and GREEN, Alyce (1977). *Beyond Biofeed-back*. San Francisco: Delacorte Press.
48. GROSSMAN, Richard and DANCKER, Gail (1979). *Energy Jobs and the Economy*. Boston: Ailysen Publications.
49. GULLAND, J. A. (1971). *Manual de Métodos para la evaluación de las poblaciones de Peces*. Ed. Acribia, FAO, España. 1953 p.
50. GUTIERREZ, G. J. R. E. (1962) Simulación y optimización de las biomosas de pastizales con consideraciones microclimáticas en zonas de producción del estado de Tlaxcala. Tesis de Licenciatura en Biología Agropecuaria, U.A.T.
51. HANDLER, philip, ed (1970). *Biology and the Future of Man*. New York: Oxford University Press.
52. HARMAN, Willis HARMAN, Willis W. (1977). *The Comming Transformation. The Futurist*. April.
53. HEISENBERG, Werner (1962). *Physics and Philosophy*. Harper & Row, New York.
54. HEISENBERG, Werner (1971). *Physics and Beyond*. Harper & Raw. New York.
55. HEISENBERG, Hazel (1978). *Creating Alternative Futures*. New York. Putnam.
56. JACKSON, Wes (1980). *New Roots for Agriculture*. San Francisco, San Francisco: Friends of the Earth.
57. JACOBSON, H. (1955) Information, Reproduction and the Origine of Life. *Amer. Sci.* 43: 119-127.
58. JANTSCH, Erich (1980). *The Self-Organizing Universe*. New York Pergamon.
59. JAUREGUI E., KLAUS D. LAUER W. (1970). Estimación de la Evaporación y Evapotranspiración Potencial del Centro de México; Recursos Hidráulicos, Vol. 6(1), 11-26p
60. JEANS, James (1930) *The Misterious Universe*, New York: Pergamon.
61. JIMENEZ, J. (1990) Inicio de lluvia y Probabilidades de Sequía en el Estado de Tlaxcala. Tesis de Licenciatura de Biología Agropecuaria. U.A.T.

62. JONES, G. (1979). *Vegetation Productivity*. Longman Inc., U.S.A.
63. JUNG, C. G. and PAULI, W. (1956) *The interpretation and Nature of the Psyche*. Bollingen Series Lt., Phanteon, New York.
64. KAHN, H., y WIENER, A. J. (1967). *The year 2000. A Framework for Speculation on the next thirty-three years*. New York
65. KEULEN, H. VAN (1976). A Calculation Method for potential rice production. *Contr. Centr. Res. Inst. Agric. Bogor*. No. 21. 26 pp
66. KEULEN, H. VAN (1986). Production situation 1: Optimum supply of water, nitrogen and minerals. In: *Modelling of agricultural production Weather, soils and crops*. (Van Keulen, H. & Wolf, J. Eds, *Simulation Monographs*. Pudoc, Wagening (In press).
67. KOESTLER, A. (1972). *The Roots of Coincidence*. Random House, New York.
68. KOESTLER, A. (1973). *The Challenge of Chance*. Hutchinson, London.
69. KOESTLER, A. (1969). *Beyond Reductionism*. Hutchinson, London.
70. KUHN, Thomas S. (1970). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago. University of Chicago Press.
71. LAYSEN, d. (1975). The arrow of time. *Scientific American*, 223(6): 58-69.
72. LAZLO, Ervin (1972a). *Introduction to Systems Philosophy*. New York: HARPER Torchbooks.
73. LAZLO, Ervin (1972b). *The Systems View of the World*. New York. Braziller.
74. LEONARD, George (1981). *The Silent Pulse*. New York.: Brasiliar.
75. LOPEZ, M. A. (1993). *Desarrollo de modelos matemáticos para la optimización en la producción del recurso forestal en el Estado de Tlaxcala*. Tesis de Licenciatura en Biología Agropecuaria. U.A.T.
76. LORENZ, E.N. (1963). The Predictability of Hydrodynamic Flow. *Trans. N.Y. Academic Science Serv.* II, 25, 409-432
77. LOTKA, A. J. (1925). *Elements of Mathematical Biology*. Williams and Wilkins, Baltimore.
78. LOVELOCK, J. E. (1979). *Gaia*. Oxford: Oxford University Press.
79. LOWRY, P. W. (1970). *Weather and Life*. Academic Press, New York.
80. MARGALEF, R. (1963a). On Certain Unifying Principles in Ecology. 3.
81. MARGALEF, R. (1980). *La Biosfera entre la Termodinámica y el Juego*. Ediciones Omega, Barcelona, 236 p.
82. MAY, R. M. (1976). Mathematical aspects of the Dynamics of Animal Populations. In: S. A. Levin (Ed.), *Studies in Mathematical Biology*. Providence, R. I., American Mathematical Society.
83. MAY, R. M. (1969). *Stability and Complexity in Model Ecosystems*. Princeton University Press, New Jersey.
84. MAY, R. M. (1974a). Biological populations with nonoverlapping generations: stable points, stable cycles and Chaos. *Science*, 186, 634-637.
85. MICHALCZYK, K. W. (1979). The effect of Climatic Variations on the Significance of Agricultural Planning Data. *Agric. Meteor.*, 20, 221-229.
86. MONOD, Jacques (1971). *Chance and Necessity*. New York: Knopf.
87. MONTEITH, J. L. (1965a). Radiation and Crops. *Exp. Agric. Rev.*, 1, 241-51.
88. MONTEITH, J. L. (1975-1976). *Vegetation and Atmosphere*, Vols. 1 and 2. Academic Press, London.
89. MORENO, M. A., RITTER, O. W., REYES, J. M. (1989) *Microfísica de Cultivos y Sistemas Naturales*. U.A.G.
90. MOSIÑO, P. A. and E. GARCIA (1978). 1972 Rainfall anomalies in México and Central America. 8 Fig. 23 charts. Report prepared for the International Federation of Institutes for Advanced Studies (IFIAS). Geneve, Switzerland.
91. MUNN, R. E. (1970). *Biometeorological Methods*. Academic Press, New York, 366 p.
92. MUÑOZ, N. H. (1991). *Potencialidad y estabilidad productiva a partir de moelos climáticos para el Estado de Tlaxcala*. Tesis de Licenciatura en Biología Agropecuaria. U.A.T.

93. ODUM, Howard (1971). *Environment, Power and Society*. New York: Wiley Interscience.
94. ODUM and PINKERTON (1955). Time's Speed Regulator: The optimum Efficiency for Maximum Power Output in Physical and Biological Systems. *Amer. Scientist*, 43, 331-343.
95. OKE, T. R. (1978). *Boundary Layer Climates*. John Wiley and Sons, New York, 372.
96. OROZCO, F. S. (1989). Origen y Probabilidades de Heladas para el Estado de Tlaxcala. Tesis de Licenciatura en Biología Agropecuaria, U.A.T.
97. PARSEGIAN, V. L. (1972). *The Cybernetic World*. Double Day & Co. Inc. Garden City, New York.
98. PATRON, S. R. and JONES, J. G. (1989). Soyabean production in the tropics - A simulation case for Mexico. *Agricultural Systems* 29, 219-231.
99. PEAT and BRIGGS (1990). *Chaos and Order*. Harper & Row.
100. PELA Y TOMLIMSON (1969). A generalized stock production model. *Interamerican Tropical Tuna Commission, Bulletin* Vol. 13 Num. 3.
101. PELLETIER, Kenneth R. and GARFIELD, Charles (1976). *Consciousness: East and West*. New York: Harper & Row.
102. PENNING DE VRIES, F.W.T. (1982a). Phases of development of models. In: *Simulation of plant growth and crop production*. (Penning de Vries, F.W.T. & van Laar, H. H. (Eds) *Simulation Monographs*. Pudoc, Wageningen, 20-5.
103. PENNING DE VRIES, F.W.T. (1983). Modelling of growth and production. In: *Encyclopedia of plant physiology*. New Series, Volume 12 D. *Physiological plant ecology IV*. (Lange, O. L., Nöber, P. S., Osmond, C. B. & Ziegler, H. (Eds)), Springer-Verlag, Berlin, 117-50.
104. PETERS, R. H. (1985). Prediction and Understanding: Alternative Goals in Science. Conferencia ofrecida en el Simposio "Reductionism Versus Holism". Universidad de Ottawa.
105. PRIBRAM, Karl H. (1977). Holonomy and Structure in the Organization of Perception. In *Nicholas John M. ed. Images, Perception and Knowledge*. Dordrecht, Holland: Reidel.
106. PRIGOGINE, il. I. STENGERS (1984). *Order Out of Chaos*. London: Heineman.
107. PRIGUGINE, Ilya (1980). *From Being to Becoming*. San Francisco: Freeman.
108. PROKHOV, Yu. V. and ROZANOV, Yu. A. (1969). *Probability Theory*. Springer-Verlag, New York.
109. PSAROPULUS, CH. T. and O. W. RITTER (1976). *Population Dynamics and Statistical Programs (Internal Report, Vol. 1)*. Inter America Tropical Tuna Commission. Scripps Inst. of Oceanography, San Diego, Calif., U.S.A.
110. QUASLER, E. (1964). *The emergence of Biological Organization* (New haven, Conn.: Yale University Press).
111. RITTER, O. W., R. S. GUZMAN, C. E. BUENDIA and A. T. MORALES (1979). Sobre la Evaluación de los Recursos Naturales (Procedimientos de Evaluación Matemática) *Anales del Instituto de Geofísica*, 25, 125-133. México.
112. RITTER, O. W. y GUZMAN, R. S. (1978). Efectos Meteorológicos en la Productividad oceánica del Golfo de Panamá. *Meteorológica*, Vol. VIII / IX, Págs. 349-358.
113. RITTER, O. W., KLIMEK, G. R. y GUZMAN, S. R. (1982) Sobre la Abundancia, Distribución y Comportamiento del Atún de Veta Amarilla en el océano Pacífico del Este y su Correlación a Condiciones Físico-Ambientales. *Ecofísica*. IPGNCOCAJ. No. 17.
114. RITTER, O. W., SUAREZ, J. S. y RODRIGUEZ, R. M. (1992). Crecimiento, Sobrevivencia y Optimización de Ila carpa (*Cyprinus carpio*) en la Presa de Atlangatepec, Tlax. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, Vol. 19, No. 1, pp. 43-58.
115. RITTER, O.W. y GUZMAN, R. S. (1979). Preliminary results of the Study of Meteorological effects on the Productivity of the Panama Bight. *Geofísica Internacional*, Vol. 18, No. 2, pp. 177-195.
116. RITTER, O. W. y GUZMAN, R. S. (1991). Simulación y pronóstico de lluvias; una aplicación al Estado de Tlaxcala. *Geofísica Internacional*, Vol 30, No. 3, pp. 183-192.
117. RITTER, O. W., y GUZMAN, R. S. (1984). Modelo generalizado de producción pesquera con dependencia ambiental. Una aplicación al Golfo de Tehuantepec. *Revista Geofísica I.P.G.H. (OEA)*, Vol 20.

118. RITTER, O. W., GUZMAN, R. S., SALVATIERRA, R. F. (1992). Localización microclimática de zonas óptimas para la introducción del cultivo de la soya en el Estado de Tlaxcala. *Atmósfera* 5, pp. 169-179.
119. RITTER, O. W., y AGUILA, Z. S. (1993). Las sequías y sus implicaciones INFOMAC (OMMAC) Num 6 pp 21-24.
120. RITTER, O. W., KLIMEK, R. G., GUZMAN, R. S. y MUÑOZ, H. N. (1994). Determinación de la Productividad y estabilidad de illos ecosistemas a partir de valores climáticos, una aplicación al estado de Tlaxcala. *Revista Meteorológica*, Buenos Aires Argentina (en prensa).
121. RITTER, O. W., MERCADO, R. P. y PEREZ, M. C. (1993). Microclimatology and Forest Plague (*Deudroctonus adjunctus*) in Central México. *Geojournal (Germany)* 30, No. 4. pp. 479-481.
122. RITTER, O. W., De Garay, M.E., Guzmán, S.R. (1986). Balances de Radiación y Potenciales de Productividad Primaria en Algunos Ecosistemas Terrestres de la República Mexicana. *Geofísica Int.* 25, 2, 285-314.
123. RITTER, O. W. y Guzmán, S. R. (1987). Efectos Estocásticos-Ambientales en el Crecimiento Poblacional Matutero en el Océano Pacífico del Este. *Meteorológica (Argentina)*. Vol. XV, No. 1.
124. RITTER, O. W., Noguez, M. N.; Rosas, P. I. (1988). Evaluación del Potencial y la Estabilidad de la Producción Agrícola con base en índices Climáticos para algunas Localidades de la República Mexicana. *Geofísica Internacional*.
125. RITTER, O.W., Mosiño P.A., Buendía, C. E. (1996). Rainfall Variability and Predictability of Agricultural Purposes in Central México. MAUSAM (India). (In Press). 126.
- ROSEMBERG, N. J. (1974). *Microclimate: The Biological Environment*. Wiley editions. New York.
127. ROUGHGARDEN, J. (1974). Population Dynamics spatially varying environments. How population size tracks spatial variation in carrying capacity. *The American Naturalist*, Vol. 108, No. 963.
128. ROUGHGARDEN, J. (1975a). A simple model for population dynamics in stochastic environments. *The American Naturalist*. Vol. 109, 713-736.
129. SCHROEDINGER, E. (1945). *What is Life?* Cambridge. England. Univ. Press, Chicago.
130. SCHUMACHER, E. W. (1975). *Small is Beautiful*. New York, Harper and Row.
131. SHANNON and WEAVER (1949). *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana Univ. of Illinois Press.
132. SHELDRAKE, R. (1982). *A New Science of Life*. J. P. Tarcher. Los Angeles.
133. SINKO, J. W. and STROIFER, W. (1967). A new model for the age size structure of a population. *Ecology* 48: 910-918.
134. SLOBODKIN, L. B. (1960). Ecological Energy Relationship at the Population Level. *The American Naturalist*, XCIV: 213-236.
135. SOBERON, J.M., (1990). *Ecotecnología, Predicción y Ciencia*. *Ciencias Especial Num.* 4, 65-74 pp.
136. SOMMERS, Fred (1975). Dualism in Descartes: The Logical Ground. In Hooker, Michael, ed. *Descartes*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
137. STAPP, Henry Pierce (1971). *S-Matrix Interpretation of Quantum Theory*. *Physical Reviews*, March 15.
138. STAPP, Henry Pierce (1972). The Copenhagen Interpretation. *American Journal of Physics*, August.
139. STERN, R. D. (1979). Analysis of Daily Rainfall at Samara, Nigeria, Using a Simple Two-Part Model. Department of Applied Statistics. Reading, Univ., Great Britain, Arch. Met., Brokl., 25, 123-135.
140. STERN, R. D. (1981). The Use of Rainfall Models in Agricultural Planning. Department of Applied Statistics. Reading Univ., Great Britain, 35-40.
141. STEVENS, P. S. (1989). *Patrones y Pautas en la Naturaleza*. Biblioteca Científica Salvat. Barcelona, España.

142. SUAREZ, S. J. (1991). Crecimiento y tasa de sobrevivencia de la carpa en la presa de Atlangatepec, Tlax. Tesis de Licenciatura en Biología Agropecuaria, U.A.T.
143. THOM, R. (1972). Stabilité structurelle et morphogenèse. Paris, Ediscience.
144. TOMLINSON, P. K. and N. J. ABRAMSON (1961). Fitting a Von Bertalanffy Growth Curve by Leasts Squares. Fish. Bulletin No. 116. Calif. U.S.A.
145. VANDER MEER, H. (1981). Elementary Mathematical ecology. John Wiley & Sons Inc. pp. 287.
146. VERSTEEGE, M. N. (1985). Factors influencing the productivity of irrigated crops in southern Peru, in relation to prediction by simulation models. PhD Thesis, Agricultural University, Pudoc, Wageningen. 182 pp.
147. VITKEWITCH (1968). Agricultural Meteorology. National Science Foundation, Jerusalem, 320 p.
148. WEELER, J. A. (1979). A Question of Physics. Routledge and Kegan Paul, London.
149. WEISS, Paul A. (1971). Within the Gates of Science. New York, Hafner.
145. WEISS, PAUL A. (1973). The Science of Life. Mount Kisko, New York; Futura.
150. WHITEHEAD, Alfred North (1926). Science and the Modern World. New York: MacMillan
151. WIENER, M., (1948) Cybernetics. New York, Wiley.
152. WILKERSON, G. G., J. W. JONES, K. J. BOOTE, K. T. INGRAM and J. W. MISHOE (1983). Modeling Soybean Growth for Crop Management. Transaction of the Asae 26: 63-73.
153. WIT, C. T., de (1965). Photosynthesis of lead canopies. Agric. Res. Rep. 663. Pudoc., Wageningen, 57 pp.
154. WIT, C. T. de & PENNING DE VRIES, F. W. T. (1982). La synthèse et la simulation des systèmes de production primaire. In: La productivité des pâturages sahéliens. Agric. Res. Rep. 918, Pudoc, Wageningen, (Penning de Vries, F.W.T. & Djitéye. M. A. (Eds)), 23-7. (French, with English summary).
155. YUAN, H. C. and LAKE, B. M. (1977). Nonlinear Deep Waves in the Significance on Nonlinearity, A. Ferimutter y L. F. Scott (eds), Plenum New York.